



UNIVERSITA' DI PADOVA  
FACOLTA' DI INGEGNERIA

# Laurea in Ingegneria Elettrotecnica

TESI DI LAUREA

## **ANALISI PARAMETRICA DEL COEFFICIENTE AREICO DI INTENSITÀ LUMINOSA DI UN CATADIOTTRO**

RELATORE: CH.MO PROF. PIETRO FIORENTIN

LAUREANDO: LEOPOLDO PURGATO

ANNO ACCADEMICO 2010/2011

## SOMMARIO

In questo lavoro di Tirocinio e di Tesi presso il laboratorio di fotometria si è cercato di dare una caratterizzazione delle proprietà ottiche a dei campioni di superfici catadiottriche. Al fine di ottenere dei risultati coerenti tra laboratori differenti, le definizioni delle grandezze il sistema e la procedura di misura seguono le prescrizioni normative indicate nella norma Uni 10828.

La caratterizzazione riguarderà 3 superfici:

- Catadiottro1 - Veralux 60/1 (IA 02 E3 52379) - BIANCO - CIRCOLARE - Diam=50mm
- Catadiottro2 - Plastar (E2 262 e2) - GIALLO - CIRCOLARE - Diam=50mm
- Catadiottro3 - EURO-NORM (E1 01021341) art2054.0 - ROSSO - RETTANGOLARE - Area = 90X40

In questa tesi verranno riportate le definizioni, le prescrizioni e i suggerimenti presenti nella norma sopra indicata. Successivamente verrà discussa la procedura per la realizzazione del sistema di misura a regola d'arte, gli accorgimenti ed eventuali problemi riscontrati durante il lavoro svolto presso il laboratorio di Fotometria di Padova.



## Indice

<b>INTRODUZIONE</b>	3
<b>1 TERMINI, DEFINIZIONI E PRINCIPALI GRANDEZZE</b>	5
1.1 Definizioni Norma Uni10828	6
1.2 Sistema di riferimento angolare CIE	8
<b>2 SISTEMA DI MISURA</b>	11
2.1 Il Goniometro	11
2.2 Il rivelatore	13
2.3 Sistema di posizionamento verticale	16
2.4 La sorgente luminosa	16
2.5 Filtro ottico	17
2.6 Luxmetro	17
<b>3 PRESCRIZIONI SULLA MISURA SECONDO LA NORMA 10828</b>	19
3.1 Apertura angolare della sorgente $\delta$	20
3.2 Apertura angolare del rivelatore $\gamma$	21
3.3 Apertura angolare del catadiottro $\eta$	22
3.4 Regolazione dell'angolo di osservazione $\alpha$ , accuratezza angolare richiesta per gli angoli di illuminazione $\beta$ e di rotazione $\epsilon$	24
3.5 Distanza di misura	24
3.6 Uniformità di illuminamento sul catadiottro	25
3.7 Caratteristiche fotometriche della sorgente luminosa	25
3.8 Sensibilità spettrale e linearità del rivelatore fotometrico	26
3.9 Influenza della riflessione regolare	26
3.10 Presenza di riflessioni spurie e di luce dispersa	26
3.11 Accorgimenti generali per la misura	27
3.11.1 Luce residua e diffusa	27
3.11.2 Stabilità del dispositivo	27
<b>4 REGOLAZIONE E ACCORGIMENTI ADOTTATI SUL SISTEMA DI MISURA</b>	29
4.1 Obiettivo telecamera CCD	29
4.2 Apertura angolare rivelatore	29
4.3 Filtro	30
4.4 Diaframma sorgente luminosa	30
4.5 Verifiche della scala degli angoli del goniometro e dell'angoli di osservazione	30
4.6 Misura del illuminamento mediante luxmetro	31
<b>5 ACQUISIZIONE DATI MEDIANTE RIVELATORE LMK96 ED ACCORGIMENTI PER ELABORAZIONE DATI CON MATLAB</b>	33
5.1 Valutazione del fattore di calibrazione mediante una sorgente campione	33
5.2 Valutazione del influenza della riflessione regolare	34
5.3 Osservazioni	40
<b>6 CARATTERIZZAZIONE DI 3 CATADIOTTRI CAMPIONE</b>	41
6.1 Elaborazione dati	41
6.2 Risultati	57
<b>7 Osservazioni</b>	69
7.1 Luminanza effettiva e Rapporto areico	69

<b>7.2 Grafici</b> .....	69
<b>8 Conclusioni</b> .....	71
<b>Bibliografia</b> .....	75

## INTRODUZIONE

Alcuni anni fa, presso il laboratorio di Fotometria, è stato costituito un centro di illuminotecnica per la caratterizzazione delle proprietà ottiche dei materiali, in particolare di superfici quali catadiottri. Il Centro è partito dall'esperienza ottenuta dall'Istituto Elettrotecnico Nazionale "Galileo Ferraris" (IEN), nel quale si era progettato e realizzato uno speciale sistema goniometrico, con prestazioni superiori a quelle normalmente richieste, che fosse in grado di orientare i campioni sotto esame ottenendo diversi angoli di illuminazione e osservazione.

In tal modo il laboratorio di Padova si è quindi dotato di un sistema goniometrico, che è pertanto un'evoluzione di quello presente all'IEN. Il sistema di misura è composto da una sorgente ad incandescenza, dai rivelatori per la misura della luminanza della luce riflessa dal campione sotto esame e da un sistema goniometrico che permette di riprodurre i diversi allineamenti, tra campione, sorgente e rivelatore, richiesti per i diversi oggetti che il laboratorio può analizzare.

Due particolari configurazioni geometriche permettono di analizzare sia il comportamento in riflessione di oggetti catadiottrici, riflessione in direzione molto prossima a quella della luce incidente, sia che quello di superfici con riflessione speculare, diffusa e mista, permettendo di analizzare la dipendenza angolare del fattore di luminanza. Il sistema goniometrico è progettato per realizzare la movimentazione del campione in accordo con le indicazioni CIE per i catadiottri.

Come rivelatore fotometrico viene utilizzato un luminanzometro a CCD che permette di ovviare ai numerosi problemi presenti nell'uso di rivelatori tradizionali. L'uscita del rivelatore è un'immagine nella quale è possibile identificare e separare i contributi dovuti al campione da quelli indesiderati, prodotti, ad esempio, da riflessioni del bordo irregolare del campione e degli oggetti circostanti, quali il supporto porta campione.

Il lavoro di questa esperienza, come detto, tratta la caratterizzazione di 3 catadiottri campione mediante l'analisi parametrica del coefficiente areico di intensità luminosa; per fare ciò viene utilizzato un sistema di misura basato sul sistema previsto dalla norma UNI 10828, mediante l'applicazione del sistema di riferimento CIE. Verranno inoltre approfondite l'influenza dell'apertura angolare della sorgente, del rivelatore e degli angoli di misura; sarà poi verificata l'influenza della riflessione regolare mediante una misura orientata alla dimostrazione della presenza per determinati angoli di illuminazione.



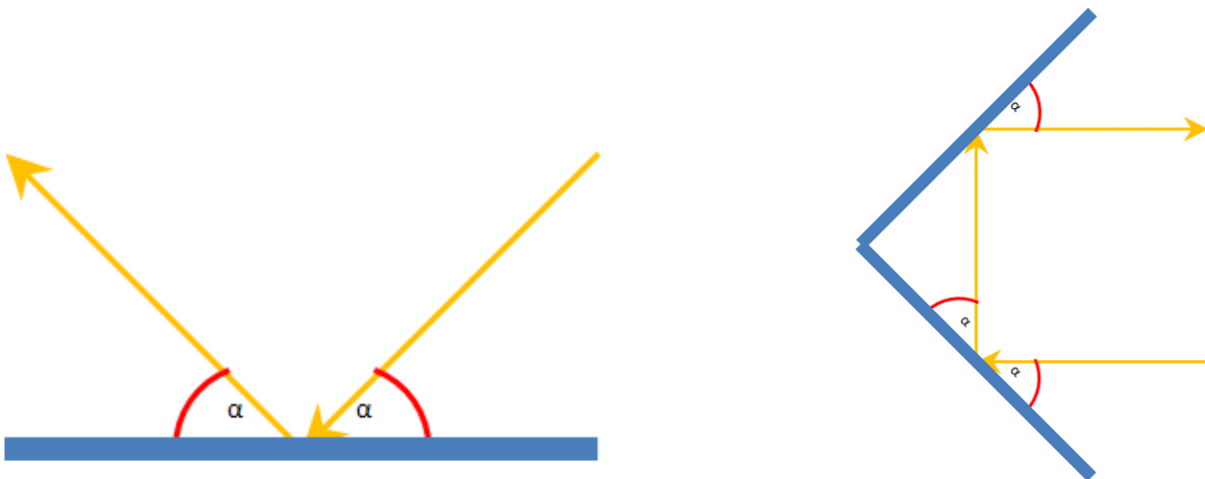
# 1 TERMINI, DEFINIZIONI E PRINCIPALI GRANDEZZE

Vengono riportate qui di seguito le principali grandezze fotometriche necessarie per descrivere il comportamento di una superficie dal punto di vista delle sue proprietà riflettenti; i termini e definizioni sono quelli indicati nella norma UNI 10828 al fine di ottenere la massima accuratezza nel linguaggio e risultati coerenti fra laboratori differenti.

Prima di analizzare le definizioni è necessario conoscere il concetto di superficie retroriflettente o catadiottro.

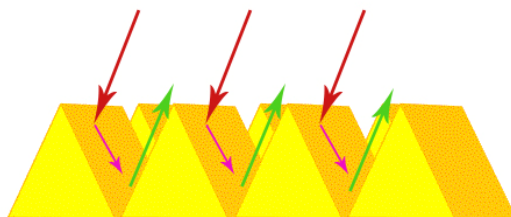
**Catadiottro:** è' chiamato catadiottro un dispositivo che riflette la luce frontalmente all'osservatore. Per prima cosa dobbiamo puntualizzare il concetto di **riflessione ottica**: se inviamo un raggio ad una superficie liscia che riflette la luce, ad un'inclinazione qualsiasi, otteniamo un altro raggio con la medesima inclinazione.

Indicando l'angolo con la lettera greca alfa, possiamo quindi introdurre questo schema:



Aggiungendo poi un' altra superficie riflettente perpendicolare alla prima, in questo modo il raggio viene restituito.

La superficie di un catadiottro è invece una sequenza di prismi a base triangolari affiancati che riflettono la luce fra loro.



Un raggio, investendo la superficie del catadiottro (costituito da prismi a base triangolare), viene riflesso al prisma adiacente, che a sua volta riflette il raggio nella stessa direzione di quello di entrata, ma con verso opposto.

### 1.1 Definizioni Norma Uni10828

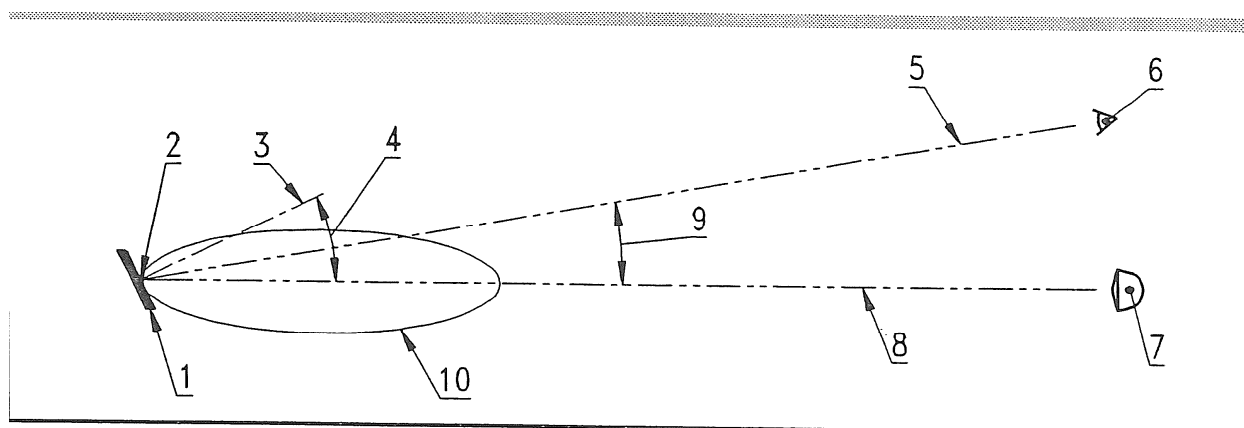


Figura 1: Legenda

- 1-Catadiottro
- 2-Centro di riferimento
- 3-Asse di riferimento
- 4-Angolo di illuminazione ( $\beta$ )
- 5-Asse di osservazione
- 6-Rivelatore fotometrico
- 7-sorgente luminosa
- 8-Asse di illuminazione
- 9-Angolo di osservazione ( $\alpha$ )
- 10-Ripartizione dell'intensità luminosa riflessa

1. **Centro di riferimento:** è il punto sul catadiottro, o prossimo ad esso, assunto come centro del sistema di misura.  
**Asse di riferimento:** Semiretta che ha origine nel centro di riferimento ed è usata per determinare la posizione angolare del catadiottro; esso è sempre perpendicolare alla superficie del catadiottro.
2. **Asse di illuminazione:** Segmento di retta congiungente il centro di riferimento con la sorgente luminosa.
3. **Asse di osservazione:** Segmento di retta congiungente il centro di riferimento con il rivelatore dello strumento.
4. **Rivelatore Fotometrico:** telecamera CCD
5. **Sorgente luminosa:** costituita da una lampada ad incandescenza che approssima l'illuminante A e dà un sistema ottico di proiezione.
6. **Semipiano di osservazione:** Semipiano che ha origine dall'asse di illuminazione e che contiene l'asse di osservazione.
7. **Angolo di illuminazione ( $\beta$ ):** Angolo compreso tra l'asse di illuminazione e l'asse di riferimento. L'asse di illuminazione è solitamente minore di  $90^\circ$ , ma il suo intervallo angolare completo è  $0 < \beta < 180^\circ$ . Per meglio definire l'orientamento, questo è caratterizzato da due componenti,  $\beta_1$  e  $\beta_2$ .
8. **Angolo di osservazione ( $\alpha$ ):** Angolo compreso tra l'asse di illuminazione e l'asse di osservazione. L'angolo di osservazione è sempre positivo ed è sempre limitato nei fenomeni di riflessione catadiottrica a piccoli angoli acuti. Massimo intervento angolare:  $0 < \alpha < 180^\circ$
9. **Prima componente dell'angolo di illuminazione ( $\beta_1$ ):** Angolo compreso tra l'asse di illuminazione e il piano sul quale giacciono l'asse di riferimento e il primo asse. Intervallo angolare:  $-180 < \beta_1 < 180^\circ$
10. **Seconda componente dell'angolo di illuminazione ( $\beta_2$ ):** Angolo compreso tra il piano che contiene il semipiano di osservazione e l'asse di riferimento. Intervallo angolare:  $-90 < \beta_2 < 90^\circ$
11. **Asse primario:** Asse passante per il centro di riferimento e ortogonale al semipiano di osservazione
12. **Asse secondario:** Asse passante per il centro di riferimento e ortogonale tanto al primo asse quanto all'asse di riferimento. Il verso positivo del secondo asse si trova nel semipiano di osservazione quando  $-90 < \beta_2 < 90^\circ$
13. **Marcatura:** Marcatura sul catadiottro utilizzata per indicare l'orientamento del catadiottro in relazione alla rotazione intorno all'asse di riferimento. La marcatura di riferimento non si deve trovare sull'asse di riferimento.

**14. Angolo di rotazione( $\epsilon$ ):** angolo diedro tra il semipiano che ha origine sull'asse di riferimento e contiene la parte positiva del secondo asse e il semipiano che ha origine sull'asse di riferimento e contiene la marcatura di riferimento. Intervallo angolare  $-180 < \epsilon < 180^\circ$

**15. Apertura del fascio riflesso:** Angolo in corrispondenza del quale l'intensità del fascio riflesso è uguale alla metà dell'intensità massima del medesimo

## 1.2 Sistema di riferimento angolare CIE

Con tali definizioni possiamo definire il SISTEMA DI RIFERIMENTO ANGOLARE CIE:

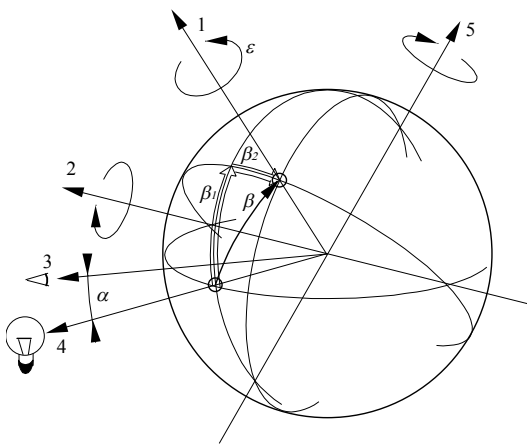


Figura 2 sistema goniometrico CIE per specificare e misurare i catadiottri: 1 asse del catadiotro, 2 asse principale, 3 asse di osservazione, 4 asse di illuminazione, 5 asse secondario

La retroriflessione è una riflessione che restituisce la luce principalmente in direzioni prossime alla direzione dalla quale proviene. Normalmente tale proprietà è mantenuta per ampie variazioni della direzione di incidenza. Per caratterizzare componenti che possiedono tale proprietà è necessario che il rivelatore fotometrico possa essere posto vicino alla sorgente di luce e che l'oggetto in prova possa essere ruotato. Data la particolarità del comportamento dei retroriflettori, sono state definiti due specifici parametri legati alla principale applicazione di tali superfici, ovvero all'ambito della sicurezza stradale.

Le definizioni di seguito riportate sono relative al sistema goniometrico di riferimento (CIE) di figura 2 e qui brevemente illustrato.

Sono necessari tre angoli principali per definire il fenomeno della retroriflessione, essi sono:

- l'angolo di osservazione ( $\alpha$ ) per definire la posizione della sorgente,
- l'angolo di entrata ( $\beta$ ) per definire la posizione del campione,
- l'angolo di rotazione ( $\epsilon$ ) per definire la rotazione del campione attorno all'asse del retroriflettore.

Al fine della caratterizzazione delle superfici retroriflettenti, risultano quindi determinanti, oltre a tali



definizioni fotometriche utili nel definire il sistema di riferimento indicare, i seguenti coefficienti:

- **Coefficiente di intensità luminosa  $R$ :** tale coefficiente considera la totale quantità di luce riflessa da un catadiottro in una data direzione relativamente al suo illuminamento:

$$R = \frac{I_s(\alpha; \beta; \varepsilon)}{E_{s\perp}} \left[ \text{cd lx}^{-1} \right]$$

dove  $I_s$  è l'intensità luminosa riflessa secondo la direzione di osservazione ( $\alpha$ ) dal catadiottro, orientato secondo l'angolo ( $\varepsilon$ ) illuminato secondo l'angolo di entrata ( $\beta$ );

$E_{s\perp}$  è l'illuminamento dell'oggetto su un piano ortogonale alla direzione di illuminazione.

- **Coefficiente areico di intensità luminosa  $R'$ :** è indipendente dall'area dell'oggetto considerato essendo definito come:

$$R' = \frac{R}{A} \left[ \text{cd lx}^{-1} \text{ m}^{-2} \right]$$

dove  $A$  è l'area della superficie del catadiottro.



## 2 SISTEMA DI MISURA

Il laboratorio per la caratterizzazione fotometrica dei materiali dell'Università di Padova, è realizzato in un tunnel lungo circa venti metri, all'interno del quale sono posizionati il sistema goniometrico per la movimentazione dei campioni e, a una distanza da questo di circa 15 metri (14,65m per la precisione), come previsto dalla normativa per i catadiottri, la sorgente luminosa ad incandescenza, che approssima l'illuminante A CIE. Il rivelatore è una telecamera a CCD utilizzata come luminanzometro ed è posizionata in prossimità del proiettore, sempre alla distanza richiesta di circa 15 metri. Una schematizzazione della disposizione dei componenti il sistema è riportata in figura 3.

Il sistema goniometrico realizzato presso l'Università di Padova, come quello presso l'IEN, è composto da attrezzature che garantiscono un elevato livello di precisione, essendo dedicate anche ad attività di ricerca, esse sono pertanto diverse da quelle dei sistemi di misura presenti sul mercato. Ad esempio il sistema permette di movimentare il campione sotto esame con una risoluzione angolare del goniometro molto più spinta di quanto normalmente richiesto.

### 2.1 Il Goniometro

Il goniometro del laboratorio di Padova (costruito da I.C.A.P. S.r.l.) è simile a quello installato presso il laboratorio dell'IEN, in aggiunta esso presenta una rotaia rotante per sostenere un rivelatore fotometrico o radiometrico allo scopo di potere analizzare la riflessione di campioni secondo direzioni che coprono l'intero emisfero superiore alle superfici analizzate. La figura 4 rappresenta una sua vista frontale.

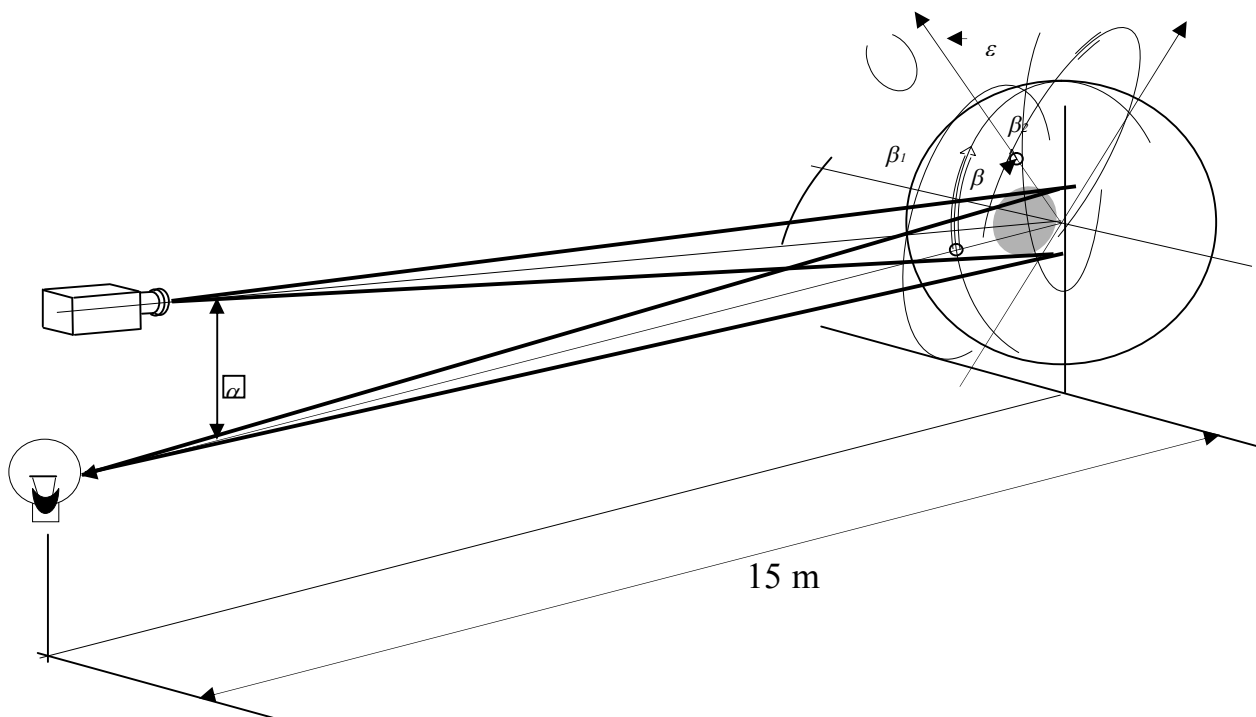


Figura 3: Schematizzazione del sistema goniometrico per la misura delle proprietà di oggetti catadiottrici

Il sistema è costruito sulla base del sistema di riferimento CIE per la caratterizzazione dei catadiottri. La direzione di riferimento è quindi quella dell'asse di illuminazione. I tre movimenti di rotazione per l'analisi dei catadiottri (angoli  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\varepsilon$  in figura 3) hanno una risoluzione angolare di  $0,01^\circ$  e una incertezza nel posizionamento di  $0,1^\circ$ .

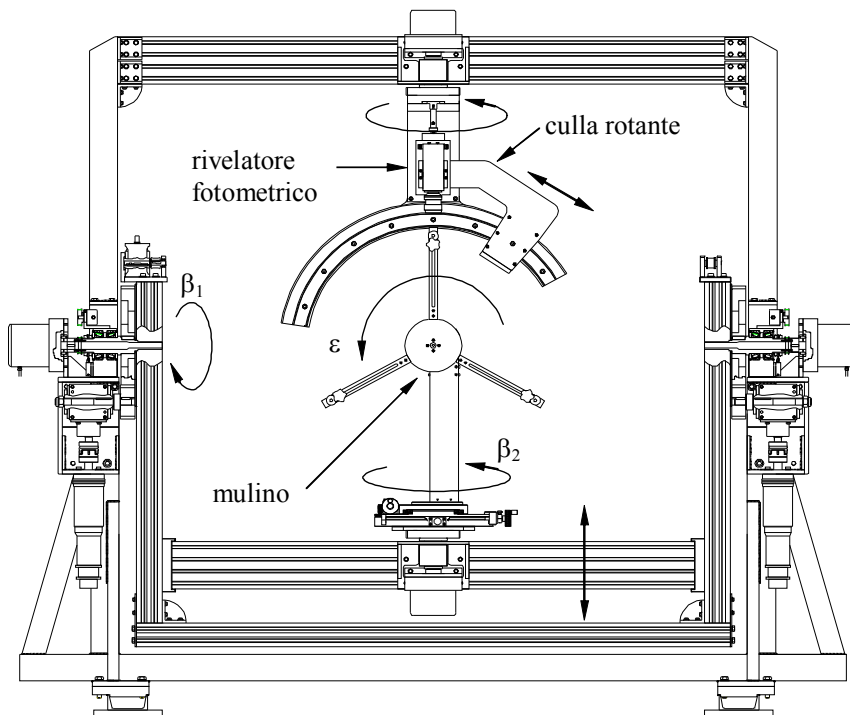


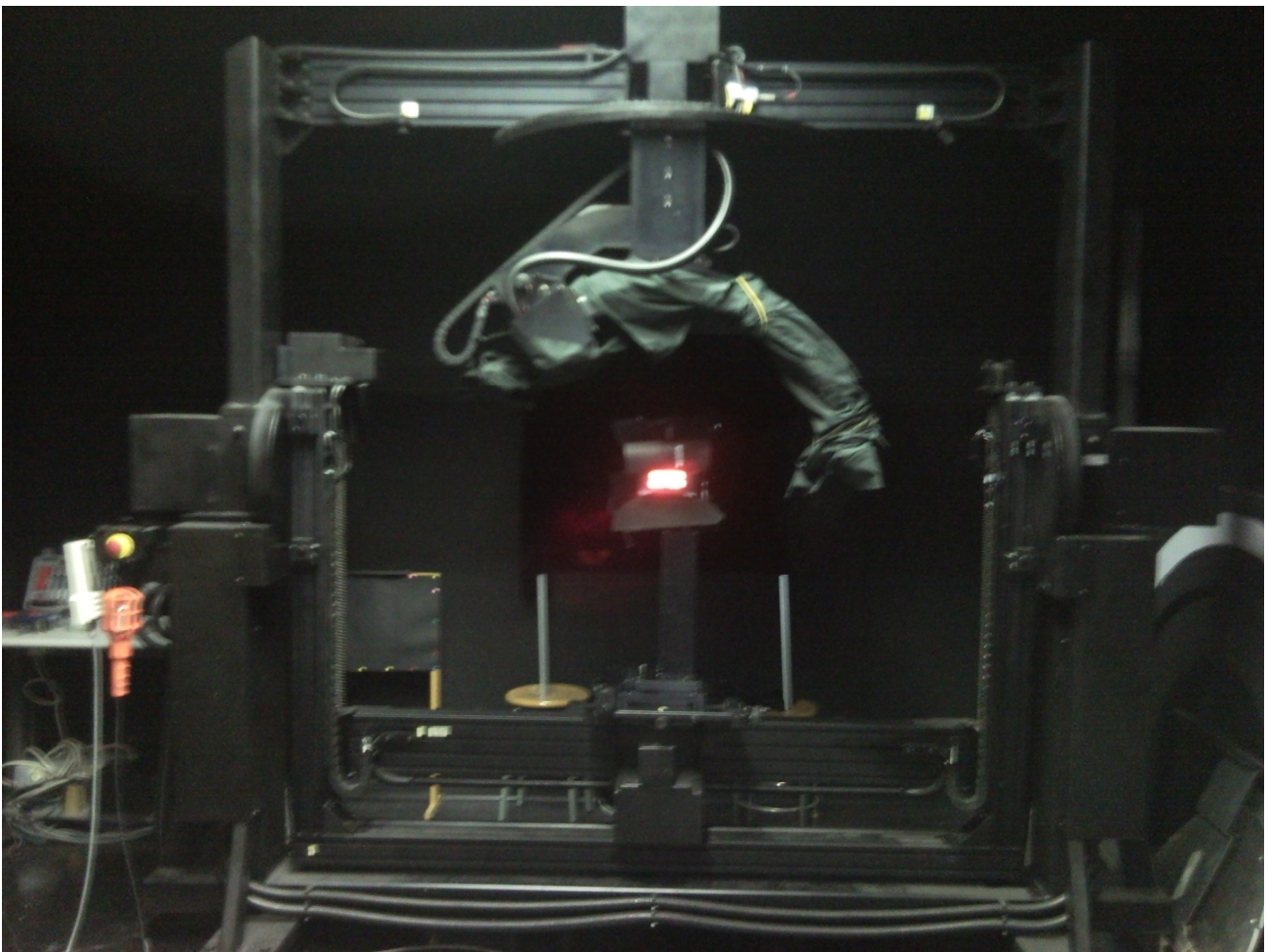
Figura 4: Vista frontale del goniometro installato presso il laboratorio fotometrico dell'Università di Padova

Il goniometro può portare campioni fino a 0,8 metri di diametro (ad esempio cartelli per la segnaletica stradale) e fino a 1,5 metri di lunghezza (ad esempio fogli riflettenti e segnaletica orizzontale). I campioni per i quali si vuole determinare il fattore di luminanza, quali ad esempio campioni di manto stradale, possono essere posizionati su un porta campioni che supporta un peso fino a 20 kg; mentre un dispositivo a forma di mulino può sostenere campioni più leggeri. Questo ultimo permette, in particolare, di realizzare la rotazione del campione secondo l'angolo  $\varepsilon$  del sistema di riferimento CIE. L'angolo  $\beta$ , invece, è variato impostando indipendentemente le sue due componenti  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  per mezzo di due dispositivi, una forcina basculante e una piattaforma rotante.

Una trave orizzontale può essere traslata verticalmente per allineare il campione in prova con il centro del sistema goniometrico, mentre una regolazione orizzontale permette di compensare l'effetto di diversi possibili spessori del campione.

Nel caso dell'analisi di catadiottri, il rivelatore può essere traslato verticalmente all'interno del piano definito dall'asse di illuminazione e l'asse verticale del sistema goniometrico.

La rotaia rotante vincolata alla parte superiore del telaio può sostenere un rivelatore che può ruotare attorno a due assi ortogonali passanti per il centro del goniometro, sempre con una risoluzione di  $0,01^\circ$  ed una incertezza di  $0,1^\circ$ . In questo caso la distanza tra campione e rivelatore è di circa 0,5 metri, quindi, per garantire un piccolo angolo solido di osservazione, è necessario utilizzare un obiettivo telecentrico montato sul rivelatore.



*Figura 5: Goniometro sul quale è installato il mulino e la basetta per il sostegno del campione*

## **2.2 Il rivelatore**

Come già anticipato, una telecamera CCD è utilizzata come rivelatore fotometrico, tale scelta, diversamente da quella di una cella fotovoltaica porta ad un importante riduzione delle incertezze di misura. Infatti, il rivelatore CCD è molto più sensibile di una fotocellula, inoltre permette di ridurre l'effetto di luci disperse che non provengono direttamente dal dispositivo in prova.

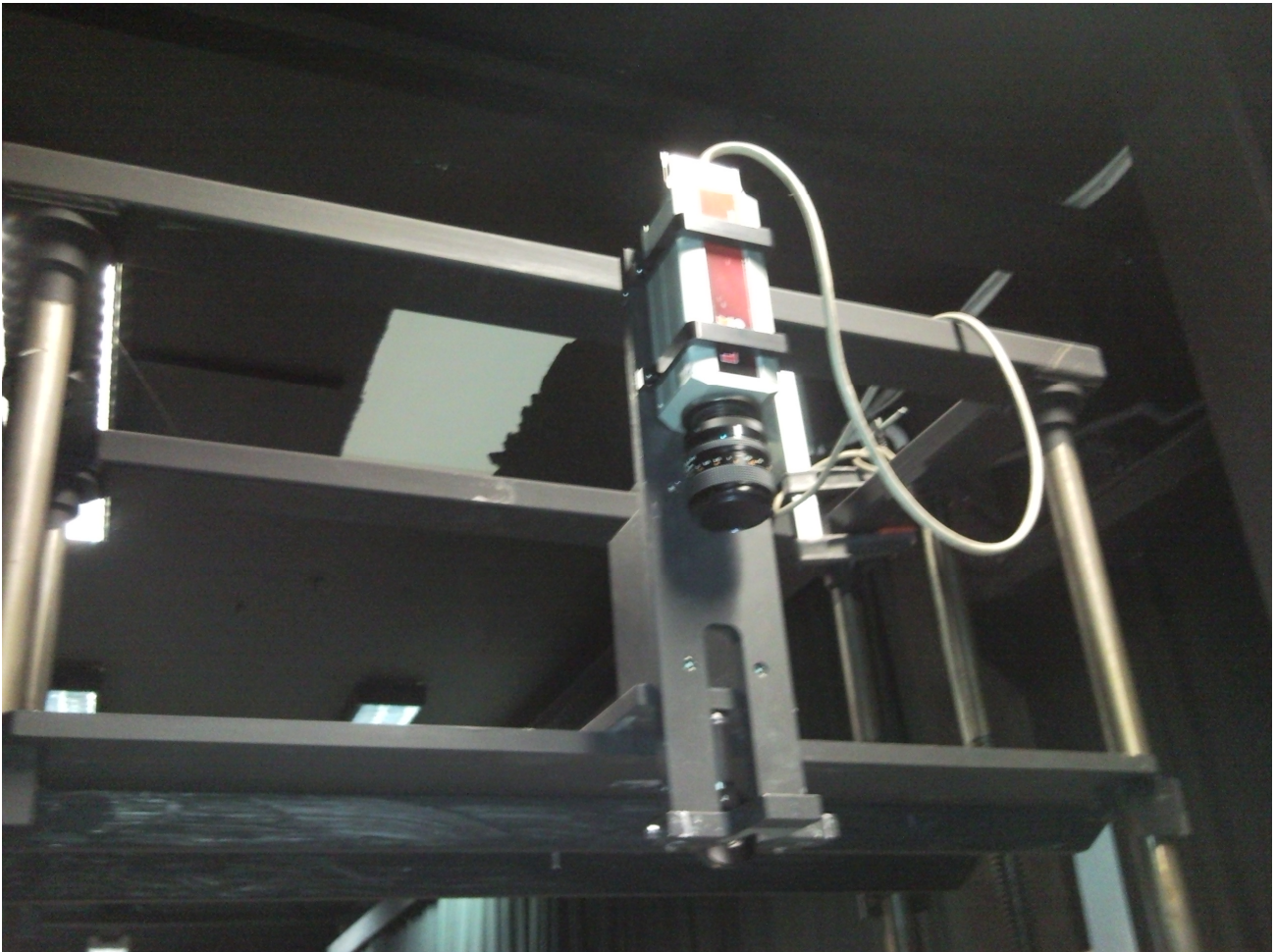
Un luminanzometro CCD presenta una buona uniformità nella sensibilità dei pixel che compongono la



matrice sensibile e offre un'alta linearità all'interno di un elevato intervallo di operazione: essendo un dispositivo ad integrazione, l'incremento del tempo di osservazione può permettere di conoscere con buona precisione anche valori di luminanza estremamente bassi.

Poiché una telecamera CCD è un dispositivo che fornisce in uscita un'immagine, operando su questa con opportuni algoritmi è possibile separare il contributo di diverse superfici illuminate e distinguere la riflessione dal campione in prova da segnali indesiderati, quali ad esempio luce dispersa e riflessioni dal supporto dell'oggetto in prova.

La telecamera CCD usata presso il laboratorio di Padova è un dispositivo commerciale adattato per le misure di luminanza (modello LMK96 della TechnoTeam) con 753x581 pixel e un convertitore analogico – digitale a 8 bit. Essa è stata analizzata verificando la sua linearità, l'uniformità della sensibilità dei pixel e la presenza di immagini fantasma. E' stato verificato che la telecamera CCD presenta un errore di non linearità minore dello 0,2 % sulle quattro decadi di dinamica, che il sistema ottico non introduce immagini fantasma significative e che la disuniformità della sensibilità dei pixel, considerando anche l'effetto dell'ottica, è sempre minore del 8 %, su tutto il campo operativo del rivelatore.



*Figura 6: Rivelatore Techno Team - LMK96 sostenuto dal piano mobile del sistema di posizionamento verticale*



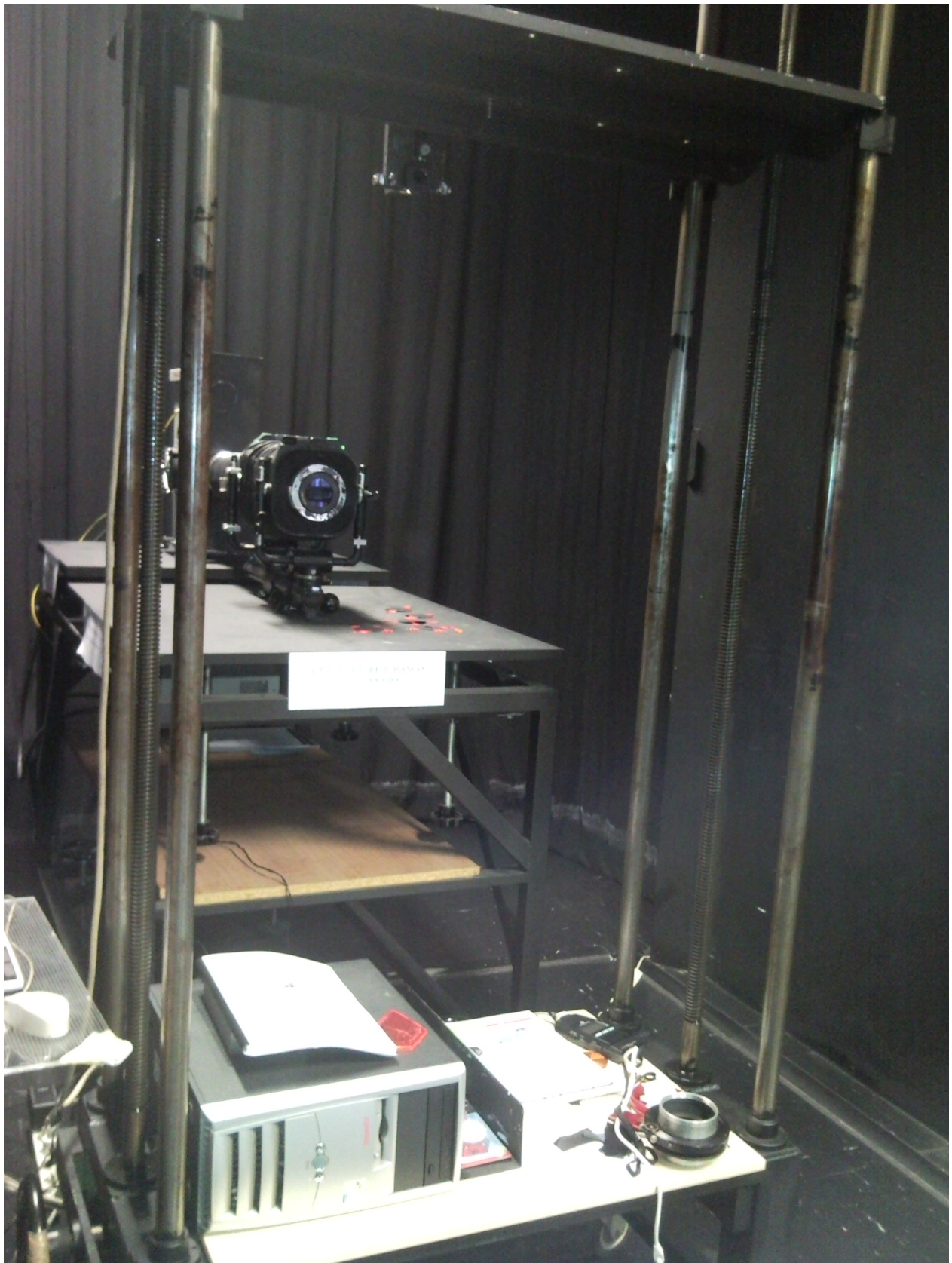


Figura 7: Sorgente luminosa; più in alto nel piano mobile si può vedere il filtro ottico del rivelatore

### **2.3 Sistema di posizionamento verticale**

Per sostenere la telecamera, il prisma e il filtro ottico, è stato utilizzato un particolare sistema di posizionamento, chiamato in gergo “trespolo”, in grado di modificare la posizione del sistema rivelatore, posto su un piano mobile, in modo da ottenere angoli di osservazione diversi, mediante la rotazione di una manovella. Tale sistema è stato calibrato calcolando la posizione di zero del piano mobile e per ogni angolo di posizionamento è stata inserita una scala graduata per indicare lo spostamento da effettuare.

### **2.4 La sorgente luminosa**

La sorgente luminosa è posta alla distanza fissa di 15 metri dal campione in prova e produce un illuminamento uniforme sullo stesso campione in accordo con quanto prescritto dalle normative, presentando una disuniformità inferiore al 5 %. Essa è composta da una lampada ad incandescenza che approssima l'illuminante A e da un sistema ottico di proiezione. Per ottenere una zona illuminata di 0,8 m, è stato realizzato un sistema ottico per espandere le dimensioni del fascio luminoso. Tuttavia questo sistema come vedremo dopo, risulterà essere irrilevante in quanto, secondo quanto indicato nella UNI 10828, tale dimensione non rispetta i valori previsti nel sistema di misura della normativa.



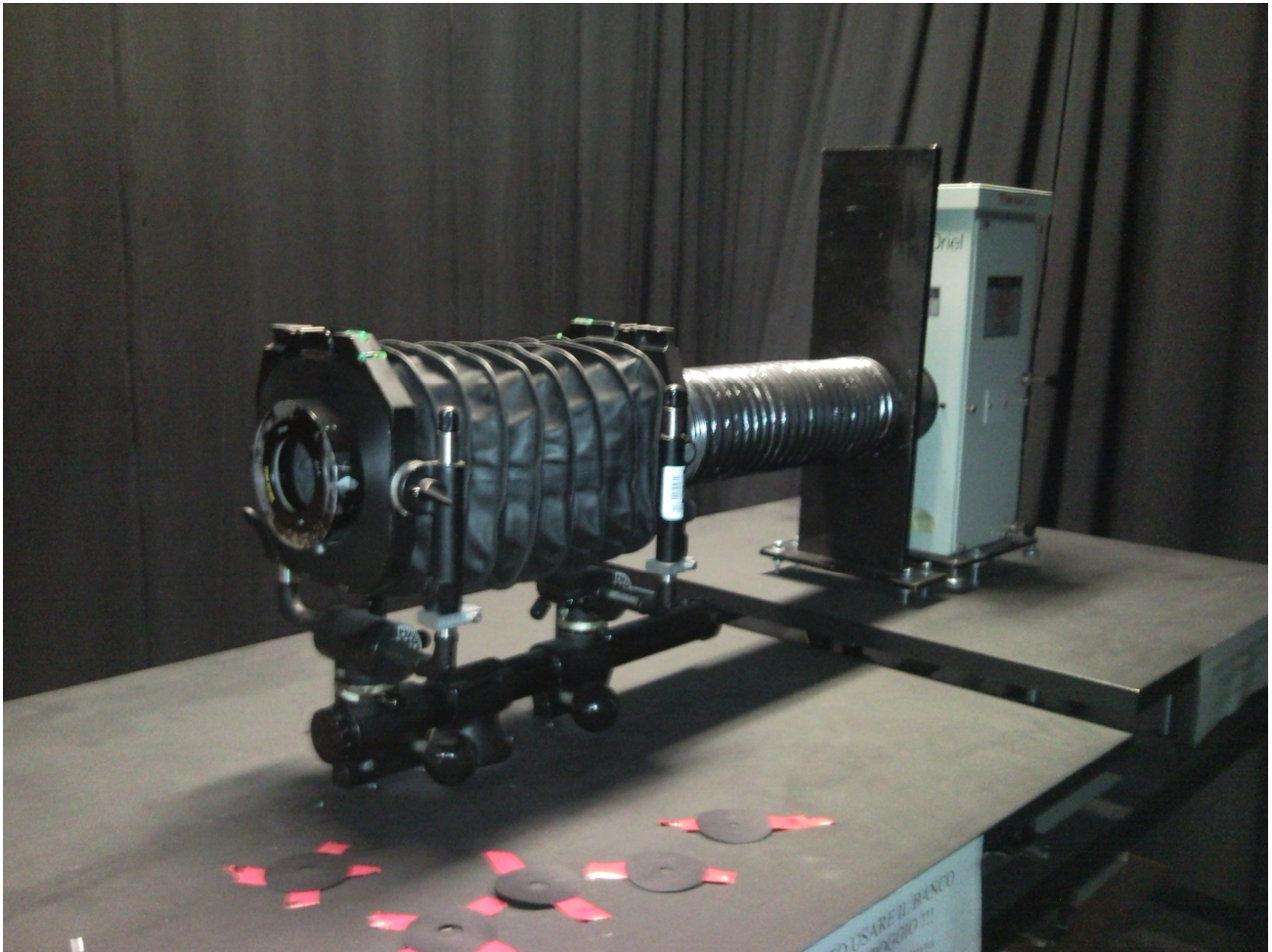


Figura 8: Sorgente luminosa

## 2.5 Filtro ottico

Un filtro ottico in è uno strumento che trasmette, ovvero lascia passare selettivamente la luce con particolari proprietà come una o più lunghezze d'onda, una gamma di colore, una polarizzazione, o ne attenua l'intensità.

In queste misure, vengono utilizzati i *filtri a densità neutra*, di colore grigio e leggermente riflettenti, hanno un'attenuazione costante sulle lunghezze d'onda visibili, e sono usati per ridurre l'intensità della luce riflettendone o assorbendone una porzione. Sono specificati dalla densità ottica del filtro, che è il negativo del logaritmo base 10 del coefficiente di trasmissione.

## 2.6 Luxmetro

Per la misura dell'illuminamento è stato utilizzato un luxmetro, del quale, la parte mobile ovvero il sensore costituito da una fotocellula al silicio, è stata posta in prossimità del campione da misurare, approssimando il più possibile la posizione di misura, ossia nello stesso piano del centro di riferimento del catadiottro

Il dispositivo utilizzato è un prodotto della Konica-Minolta, dotato di un sensore di 16,5mm e avente un range di misura pari a (0,01 - 299,000 lx)



*Figura 9: Luxmetro Konica-Minolta T-10*

### 3 PRESCRIZIONI SULLA MISURA SECONDO LA NORMA 10828

Per ottenere un' accuratezza accettabile e risultati coerenti fra laboratori differenti, la misurazione delle caratteristiche fotometriche dei catadiottri deve seguire le seguenti prescrizioni:

1. Apertura angolare della sorgente  $\delta$ , a partire dal centro di riferimento del catadiottro
2. Apertura angolare del rivelatore dello strumento  $\gamma$ , a partire dal centro di riferimento del catadiottro
3. Apertura angolare del catadiottro  $\eta$  a partire dal centro della sorgente (oppure a partire dal centro del rivelatore dello strumento)
4. Accuratezza angolare con cui sono individuati gli angoli di osservazione  $\alpha$ , di illuminazione  $\beta$  e di rotazione  $\varepsilon$
5. Distanza di misura
6. Uniformità di illuminamento sul catadiottro
7. Caratteristiche fotometriche della sorgente luminosa
8. Sensibilità spettrale e linearità del rivelatore fotometrico
9. Influenza della riflessione regolare, cioè della riflessione da parte della superficie frontale del catadiottro nella direzione speculare
10. Presenza di riflessioni spurie e di luce dispersa

Inoltre sono necessari i seguenti accorgimenti:

- Valutazione della luce residua e diffusa
- Stabilità del dispositivo
- Verifica della scala degli angoli del goniometro
- Verifiche della scala degli angoli di osservazione

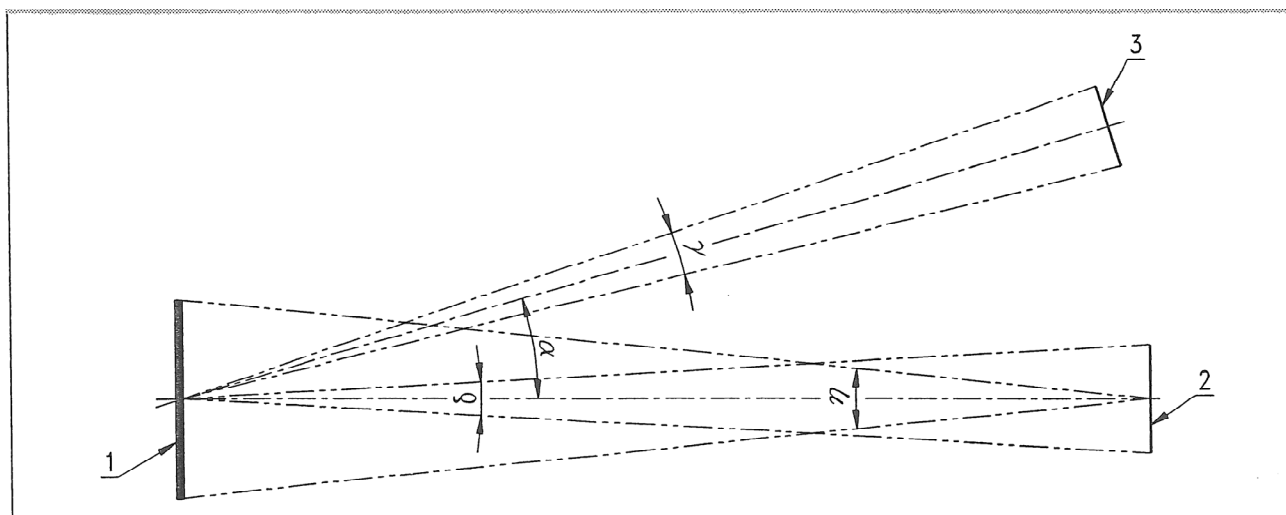


Figura 10:

1-Superficie frontale del catadiottro

2-Apertura angolare della sorgente luminosa

3-Apertura angolare del rivelatore fotometrico

Secondo la Norma UNI 10828 le prescrizioni suddette devono essere trattate vigorosamente come segue:

### 3.1 Apertura angolare della sorgente $\delta$

Per catadiottro di dimensioni limitate l'errore relativo sulla misura dell'intensità luminosa retroriflessa causato dalla dimensione della sorgente vale:

$$Er = \left[ \frac{f''(\alpha)}{f(\alpha)} \right] * \left[ \frac{\delta^2}{24} \right]$$

Dove:

- $f(\alpha)$  è una funzione analitica per la quale l'intensità luminosa della radiazione riflessa nel piano vale:  
 $i_\alpha = C \cdot f(\alpha)$
- $C$  è un parametro costante nel piano considerato

Essendo l'errore direttamente proporzionale a  $\delta^2$  e al rapporto  $f''(\alpha)/f(\alpha)$ , si deve prestare particolare attenzione per certi angoli di osservazione (vedi figura 11).

Al crescere dell'angolo di osservazione  $\alpha$ , l'errore assoluto diminuisce gradualmente fino ad annullarsi. Se l'angolo di osservazione aumenta ulteriormente, l'errore diviene positivo e l'intensità riflessa misurata risulta superiore al reale.

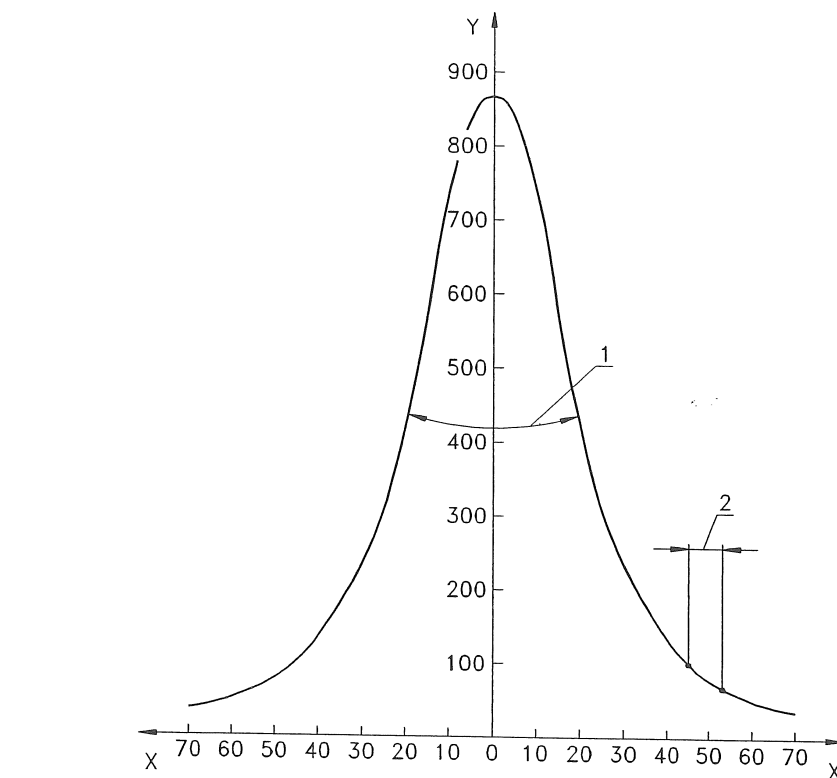


Figura 11: Esempio di ripartizione dell'intensità luminosa retroriflessa da un catadiottro a prismi di buona qualità  
*X* angolo di osservazione  
*Y* Asse di riferimento praticamente coincidente con l'asse di illuminazione  
 1 Angolo di apertura del fascio 38,5'  
 2 Zona di massimo errore riferito all'apertura della sorgente o del rivelatore

### 3.2 Apertura angolare del rivelatore $\gamma$

Se l'apertura della sorgente  $\delta$  è sufficientemente piccola mentre l'apertura angolare del rivelatore  $\gamma$  non è trascurabile abbiamo un ulteriore errore:

$$Er = \left[ \frac{f''(\alpha)}{f(\alpha)} \right] * \left[ \frac{\gamma^2}{24} \right]$$

Questa espressione ha la stessa forma di quella precedente; le conclusioni sono simili

### Valutazione dell'incertezza

Per ripartizioni a campana gli errori di misura causati dalle dimensioni della sorgente e del rivelatore dello strumento si possono ottenere dalla tabella seguente

## Prospetto 1

Apertura del fascio riflesso (minuti di arco)	Apertura angolare della sorgente ( $\delta$ ) o del rivelatore ( $\gamma$ ) (minuti di arco)							
	10	8	6	5,1	5	4	3	2,6
81	0,35	0,22	0,13	0,09	0,09	0,06	0,03	0,02
57	0,70	0,45	0,25	0,18	0,18	0,11	0,06	0,05
40	1,4	0,90	0,50	0,37	0,35	0,23	0,13	0,10
28	2,8	1,8	1,0	0,73	0,70	0,45	0,25	0,19

Nella tabella seguente sono indicati i valori sulle massime aperture  $\delta$  e  $\gamma$  da usarsi per vari tipi di catadiottri

## Prospetto 2

Categoria	Forma del fascio riflesso	Massima apertura angolare (minuti di arco)	
		Sorgente luminosa ( $\delta$ )	Rivelatore ( $\gamma$ )
Prismatico	Molto stretto	4	4
Prismatico	Stretto	6	6
Pellicola lenticolare	Stretto	6	6
Sistema lenticolare su vernice, per esempio, materiale per segnaletica stradale orizzontale	Largo	10	10

### 3.3 Apertura angolare del catadiottro $\eta$

Tale apertura angolare ha un valore dipendente dall'angolo di illuminazione  $\beta$ ; quest'angolo influisce sull'intensità rinviata al rivelatore e tale relazione può essere espressa dalla seguente:

$$i_{\beta} = C' \cdot f(\beta)$$

Dove:

- $I_{\beta}$  è l'intensità luminosa in direzione  $\beta$
- $C'$  è un parametro costante nel piano di illuminazione considerato
- $f(\beta)$  è una funzione analitica di  $\beta$

Da questa relazione l'errore nella misura, con un apertura angolare  $\eta$ , è espresso da:

$$Er = \frac{[f''(\beta) - 8tg\beta f'(\beta)]}{f(\beta)} \cdot \frac{\eta^2}{24}$$

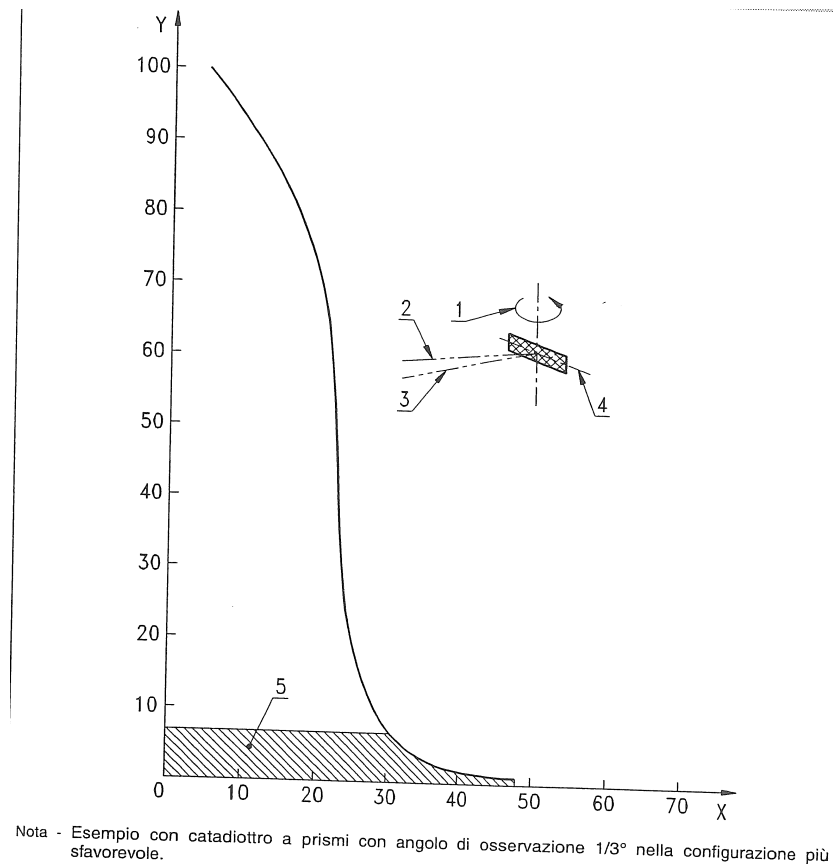


Figura 12:

*X* Angolo di illuminazione  $\beta$  in  $^\circ$

*Y* Riflessione relativa

1 Variazione dell'angolo  $\beta$

2 Rivelatore fotometrico

3 Sorgente luminosa

4 Asse longitudinale dell'esemplare

5 Area critica

L'errore relativo è proporzionale a  $\eta^2$ , si deve pertanto prestare particolare attenzione quando i valori di  $\eta$  e al rapporto  $[f'(\beta)/f(\beta)]$  sono elevati.

L'intensità luminosa diminuisce all'aumentare dell'angolo di illuminazione; dal diagramma, come si osserva, oltre un certo angolo si raggiunge la così detta "area critica" nella quale l'intensità luminosa riflessa nella direzione del rivelatore assume un valore troppo basso per essere rilevato con l'accuratezza richiesta.

### 3.4 Regolazione dell'angolo di osservazione $\alpha$ , accuratezza angolare richiesta per gli angoli di illuminazione $\beta$ e di rotazione $\epsilon$

Una regolazione inesatta dell'angolo di osservazione  $\alpha$  può produrre incertezze relativamente grandi nell'intensità luminosa misurata. L'errore nella misura per tale causa può essere espresso:

$$Er = \left[ \frac{f'(\alpha)}{f(\alpha)} \right] \cdot \Delta\alpha$$

Dove:

- $\Delta\alpha$  è l'errore nell'angolo di osservazione

Come suggerito dalla Norma UNI 10828 nel caso di catadiottri con fascio riflesso molto stretto, per esempio quelli a prismi, la regolazione dell'angolo di osservazione deve essere precisa entro (più o meno)  $0,10^\circ$ . Per quanto riguarda l'impostazione degli angoli  $\beta_1$   $\beta_2$ , l'accuratezza non è critica, si ammette quindi un'incertezza di (più o meno)  $0,2^\circ$

### 3.5 Distanza di misura

La distanza di misura deve essere scelta in base all'accuratezza richiesta per le misure.

L'accuratezza è influenzata dai due seguenti parametri:

- Le dimensioni della sorgente e del rivelatore dello strumento;
- L'andamento della ripartizione del fascio;

Quanto più stretti sono i fasci tanto più piccole saranno le aperture angolari richieste.

Queste possono essere ottenute utilizzando sorgente e rivelatore di piccole dimensioni, oppure una distanza di misura sufficientemente grande.

Nel nostro caso, per avere una misura sufficientemente accurata, con ripartizioni associabili a una funzione a campana, l'errore totale per l'angolo di osservazione  $\alpha=0$ , causato dalle due aperture della sorgente e del rivelatore, non deve superare l'1%.

Gli errori di misura, nel caso di ripartizioni a campana, determinati dalla dimensione della sorgente, sono calcolati con il prospetto 1.

E' da notare che con l'adozione di distanze di misura maggiori, si ha la facoltà di regolare l'angolo di osservazione con precisione più elevata. Ma d'altra parte va osservato che una scelta di questo tipo riduce notevolmente l'illuminamento sul rivelatore dello strumento, il che può apportare incertezze supplementari. Pertanto la distanza di prova deve essere scelta in modo da consentire una precisione accettabile dell'angolo di osservazione ed una sensibilità del rivelatore idonea ad assicurare un segnale grande abbastanza da rendere irrilevante qualsiasi incertezza nello zero o altre instabilità



### 3.6 Uniformità di illuminamento sul catadiottro

L'illuminamento sull'area utile del catadiottro, misurato ortogonalmente alla direzione del fascio di luce incidente, deve essere uniforme entro il 5%. La verifica richiede un luxmetro con area sensibile non più grande di un decimo dell'area considerata. La variazione dell'illuminamento deve soddisfare la condizione:

$$(\text{Valore massimo}/\text{Valore minimo}) \leq 1,05$$

I punti di misura sono specificati in figura:

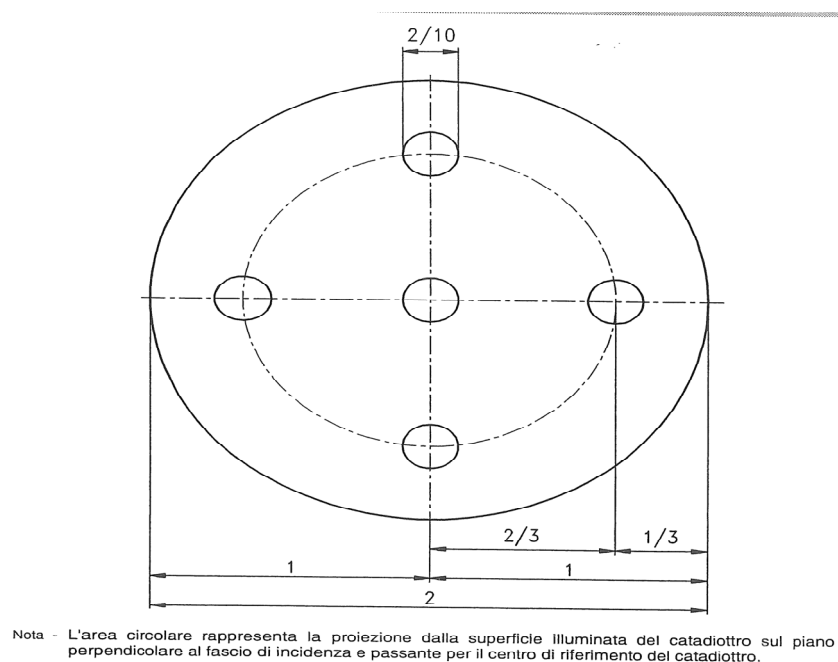


Figura 13

### 3.7 Caratteristiche fotometriche della sorgente luminosa

La distribuzione spettrale di energia emessa dalla sorgente usata per illuminare il catadiottro rappresenterà il più possibile l'illuminante A. E' ammessa una deviazione di (più o meno) 50K dalla temperatura di distribuzione prescritta. Il valore della temperatura di colore deve essere riportato nel certificato di prova. Se, per qualche ragione, si usa una sorgente luminosa diversa, questa deve rispettare le specifiche previste.

### 3.8 Sensibilità spettrale e linearità del rivelatore fotometrico

Il rivelatore deve soddisfare alle specifiche riportate in tabella

Parametro caratteristico <sup>1)</sup>	Simbolo	Valore
Taratura <sup>2)</sup>		2,0%
Sensibilità spettrale <sup>3)</sup>	$f_1$	1,5%
Sensibilità direzionale <sup>4)</sup>	$f_2$	3,0%
Linearità <sup>5)</sup>	$f_3$	1,0%
Errore sul visualizzatore	$f_4$	0,2%
Affaticamento <sup>6)</sup>	$f_5$	1,0%
Coefficiente di temperatura	$\alpha$	0,3% K
Misurazione della luce modulata	$f_7$	0,5%
Polarizzazione	$f_8$	1,0%
Illuminazione non uniforme sul rivelatore	$f_9$	1%
Cambio della scala	$f_{11}$	0,3%
Sensibilità agli ultravioletti	$u$	0,3%
Sensibilità agli infrarossi	$r$	0,3%

1) Per la definizione dei parametri vedere pubblicazione CIE 69.  
 2) Eseguita con un illuminante A che generi, sulla superficie sensibile del rivelatore, un illuminamento uniforme pari al fondo scala delle scale utilizzate.  
 3) Il parametro deve essere rimisurato nel caso di variazioni maggiori del 2,0% della taratura.  
 4) Valore non critico, considerati i piccoli angoli di osservazione.  
 5) Per valori compresi tra 0,1 e 1 del fondo scala.  
 6) Misurato dopo 30 min e con un illuminamento di 10 lx.

### 3.9 Influenza della riflessione regolare

La riflessione regolare è la riflessione da parte della superficie frontale del catadiottro nella direzione speculare. La quantità e la ripartizione di tale riflessione dipendono dalla planarità e dal tipo di trattamento subito della superficie illuminata dello stesso.

In genere si può evitarla ponendo l'asse di riferimento in modo che essa abbia luogo, rispetto alla sorgente, dalla parte opposta a quella del rivelatore dello strumento, per esempio con  $\beta_1 = -5^\circ$ .

### 3.10 Presenza di riflessioni spurie e di luce dispersa

I livelli di illuminamento piuttosto bassi che si misurano impongono cautele particolari per ridurre gli errori dovuti alla luce diffusa. Lo sfondo sul quale si staglia il campione e la struttura del suo sostegno devono essere neri opachi; il campo di osservazione del rivelatore dello strumento e i fasci di luce emessi dal campione e dalla sorgente devono essere i più ristretti che si possono ottenere. Le riflessioni del pavimento e delle pareti che si riscontrano nel caso si adottino distanze di prova molto grandi dovrebbero essere evitate, tanto sul campione che sul rivelatore, tramite schermi.

La luce residua dovrebbe sempre essere valutata misurandola quando il campione è coperto con una superficie nera e opaca, per esempio carta nera piegata a zig-zag della stessa area e forma o una conveniente superficie nera speculare convenientemente orientata su una trappola di luce. Questo valore deve essere sottratto da quello misurato con il catadiottro.

### **3.11 Accorgimenti generali per la misura**

#### **3.11.1 Luce residua e diffusa**

Come detto, lo sfondo sul quale si staglia il campione e la struttura del suo sostegno devono essere neri opachi; il campione di osservazione del rivelatore dello strumento e i fasci di luce emessi dal campione e dalla sorgente devono essere i più ristretti che si possono ottenere. Le riflessioni del pavimento e delle pareti che si riscontrano nel caso si adottino distanze di prova molto grandi dovrebbero essere evitate, tanto sul campione che sul rivelatore, tramite schermi.

L'uso di un proiettore del tipo per diapositive come sorgente luminosa contribuisce notevolmente alla riduzione della luce diffusa. Con tale proiettore si può usare un diaframma a iride o apertura di area conveniente nel sistema ottico per limitare la superficie illuminata del campione alla dimensione minima necessaria per ottenere un illuminamento uniforme.

#### **3.11.2 Stabilità del dispositivo**

La sorgente di luce e le caratteristiche del rivelatore fotometrico devono rimanere stabili durante le prove. Poiché la sensibilità e la correzione rispetto  $V(\lambda)$  di molti rivelatori varia con la temperatura, la temperatura ambiente del laboratorio non deve subire mutamenti rilevanti durante le prove. Occorre sempre stabilizzare sufficientemente il dispositivo prima di iniziare le misure.

L'alimentazione della sorgente luminosa deve essere stabilizzata in modo che l'intensità luminosa della lampada risulti costante con precisione richiesta durante la prova.

Un controllo molto utile della stabilità complessiva del sistema di misura durante una serie di prove è costituito da misure del valore di  $R$  di un campione di riferimento.

Questi campioni di riferimento devono essere stabili e tarati per una o più geometrie di misura. La taratura del campione di riferimento deve essere controllata periodicamente.



## 4 REGOLAZIONE E ACCORGIMENTI ADOTTATI SUL SISTEMA DI MISURA

### 4.1 Obiettivo telecamera CCD

Come già anticipato, una telecamera CCD è utilizzata come rivelatore fotometrico, con il quale si vuole misurare la luminanza del campione sotto esame. Trattandosi di una foto a una distanza di 14.65m, l'utilizzo di un teleobiettivo risulta la scelta più indicata, in quanto, con l'aumento della lunghezza focale, l'angolo visivo diminuisce, come si vede in figura 14, inoltre consente di isolare un dettaglio da una scena, nel nostro caso la superficie retroriflettente.

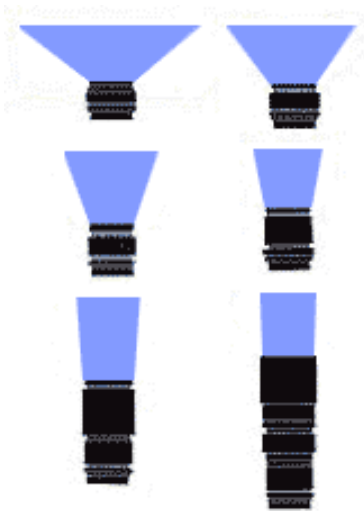


Figura 14: Esempi dei vari tipi di focale

L'elaborazione dell'immagine ottenuta dalla telecamera, e quindi i valori della luminanza misurati su ogni pixel, verranno elaborati mediante il software MATLAB. Ciò che verrà fornito in ingresso sarà una matrice contenente tutti gli elementi misurati. Per evitare di introdurre errori dovuti a luce diffusa, riflessi sul sistema di misura, pareti e pavimento, e' stato imposto al programma realizzato con matlab di eliminare i valori inferiori al 10% del valore massimo di luminanza misurata. Per questo motivo, l'utilizzo di un teleobiettivo fornirà una matrice, con elementi di valore superiore al valore minimo elaborato, maggiore rispetto ad un normale obiettivo.

Tuttavia per motivi tecnici, dovuti al sostegno e alla posizione della telecamera non e' stato possibile utilizzare un obiettivo con focale superiore al 50mm.

### 4.2 Apertura angolare rivelatore

Come indicato nel Prospetto 2 della Norma Uni 10828, il valore della massima apertura del rivelatore, nel nostro caso, trattandosi di fascio riflesso molto ristretto e superfici retroriflettenti prismatiche, non deve superare i 4 minuti d'arco.

Per ottenere un apertura di questo tipo la telecamera anziché essere messa a diretto contatto con la luce riflessa dal campione, e' stata posta a 90° rispetto l'asse di osservazione e tra obiettivo e catadiottro al fine di ottenere un apertura inferiore ai 4 minuti d'arco, e' stato interposto un PRISMA in grado di

riflettere l'immagine proveniente dal campione.

Le dimensioni scelte per tale prisma, di forma cubica, sono di 16mm per lato, ottenendo pertanto un apertura angolare di 3,75 minuti d'arco.

### **4.3 Filtro**

Nell'elaborazione dei dati ottenuti dal rivelatore e' stato notato, che le immagini ottenute presentavano una certa rumorosità, dovute al tempo di integrazione della fotocamera; per determinati angoli di osservazione e tempi di integrazione si ottenevano immagini dove una parte avevano valori di luminanza troppo elevati per essere rilevati correttamente e per tanto il rivelatore andava in saturazione, mentre in altri casi si aveva il problema opposto.

Per tali motivi tra rivelatore e campione sotto analisi, oltre al prisma, e' stato inserito lungo l'asse di osservazione un FILTRO OTTICO, in grado di fornire un attenuazione del segnale, in ingresso su larga banda, dagli ultravioletti agli infrarossi, in modo uniforme su tutta la sua superficie. In questo modo inoltre, la gestione del tempo di integrazione risultava più semplice senza dover ripetere di continuo le misure per trovare il tempo giusto.

Per le misure effettuate e' stato utilizzato un filtro con una densità ottica pari a 2, e quindi in grado di attenuare di un fattore circa 100 la luminanza misurata dal rivelatore. Tale valore e' stato verificato con precisione mediante una sorgente campione. La verifica del fattore di attenuazione e dell'uniformità di tale fattore su tutta la superficie verrà presentata nel capitolo 5.2.

### **4.4 Diaframma sorgente luminosa**

La sorgente luminosa come indicato dalla Norma Uni 10828 deve avere la massima apertura angolare, nel nostro caso, trattandosi di fascio riflesso molto ristretto e superfici retroriflettenti prismatiche, non deve superare, come per il rivelatore, i 4 minuti d'arco.

Dunque il sistema ottico presente nella sorgente per espandere le dimensioni del fascio luminoso, è risultato inutile, in quanto la zona illuminata provocava la presenza di riflessioni spurie e luce diffusa.

Pertanto, come previsto nella norma, è stato utilizzato un diaframma con un apertura di 16mm, corrispondenti a 3.75 minuti d'arco.

### **4.5 Verifiche della scala degli angoli del goniometro e dell'angoli di osservazione**

Il goniometro sul quale viene posto il dispositivo in misura deve avere la possibilità di regolare gli zeri angolari in modo che il suo asse di riferimento coincida con la direzione della luce incidente. Pertanto prima di effettuare tutte le misure, come indicato dalla Norma 10828, di fondamentale importanza è la verifica della scala degli angoli del goniometro. Come detto per l'analisi dei catadiottri (angoli  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\epsilon$ ) hanno una risoluzione angolare di  $0,01^\circ$  e una incertezza nel posizionamento di  $0,1^\circ$ .

Inoltre la verifica degli angoli di osservazione ha lo scopo di verificare che il centro di riferimento del catadiottero, il centro di rotazione del goniometro, il centro del fascio emesso dalla sorgente e il centro della superficie sensibile del rivelatore giacciono sullo stesso piano.

Tutto ciò è stato eseguito con l'ausilio di 2 piccoli specchietti investiti da un fascio di luce monocromatico (laser). In particolare ponendo uno specchio nel centro di rotazione del goniometro e

uno nel centro del fascio emesso dalla sorgente, è stata verificata la perfetta specularità della riflessione del segnale laser.

Per verificare poi che il centro della superficie sensibile del rivelatore sia allineato con essi, ponendo uno specchietto al centro del filtro ottico, come prima, è stata verificata la perfetta specularità della riflessione del segnale laser, con lo specchietto presente nel centro di rotazione del goniometro

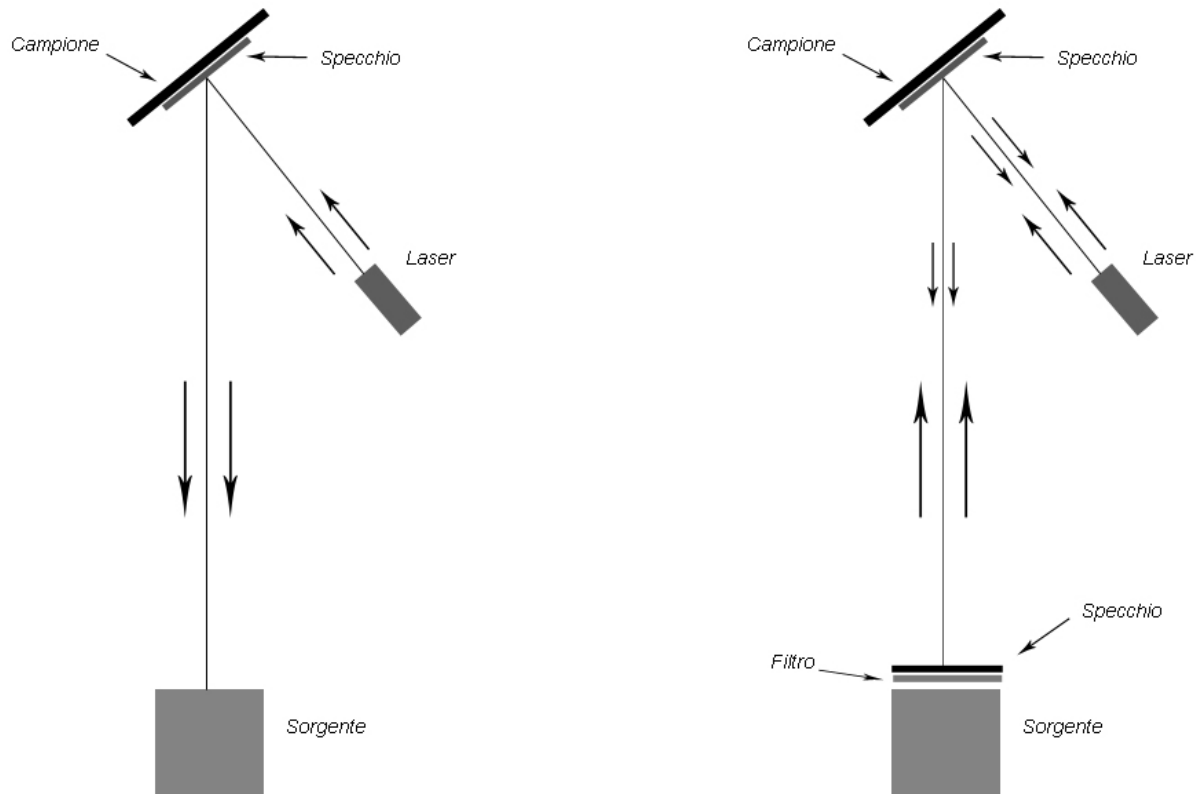


Figura 15: Verifica dell'allineamento del centro del fascio emesso dalla sorgente con il centro di riferimento del catadiottro e il centro di rotazione del goniometro

Figura16: Verifica dell'allineamento del centro della superficie sensibile del rivelatore. La verifica avviene osservando la perfetta specularità della riflessione del segnale monocromatico

#### 4.6 Misura del illuminamento mediante luxmetro

Per la determinazione del coefficiente di intensità luminosa è necessario conoscere l'illuminamento nel momento in cui è stata scattata la foto mediante la telecamera CCD.

E' stato pertanto necessario munirsi di un luxmetro per la misura e controllo di eventuali variazioni dell'illuminamento al variare sia dell'angolo di illuminazione, sia dell'angolo di osservazione. Come detto in precedenza, la parte mobile del dispositivo, ovvero il sensore costituita da una fotocellula al silicio, è stata posta in prossimità del campione da misurare, approssimando il più possibile la posizione di misura, ossia nello stesso piano del centro di riferimento del catadiottro. Inoltre, la norma

UNI10828, come riportato in precedenza , suggerisce “La verifica richiede un luxmetro con area sensibile non più grande di un decimo dell'area considerata”; il sensore del luxmetro ha un area sensibile di  $2,13\text{cm}^2$ , mentre un decimo dell'area del catadiottro giallo (e anche di quello bianco), la più piccola, è pari a  $1,96\text{cm}^2$ . Tuttavia essendo l'unico luxmetro disponibile in laboratorio, ed essendo il sensore non eccessivamente grande si è trascurato questo aspetto.



## 5 ACQUISIZIONE DATI MEDIANTE RIVELATORE LMK96 ED ACCORGIMENTI PER ELABORAZIONE DATI CON MATLAB

### 5.1 Valutazione del fattore di calibrazione mediante una sorgente campione

L'acquisizione delle immagini attraverso la telecamera CCD LMK96 avviene attraverso un software fornito dalla casa madre, la Techno Team. Esso consente l'elaborazione delle immagini, la variazione del tempo di integrazione, il rilevamento della luminanza misurata e molto altro ancora.

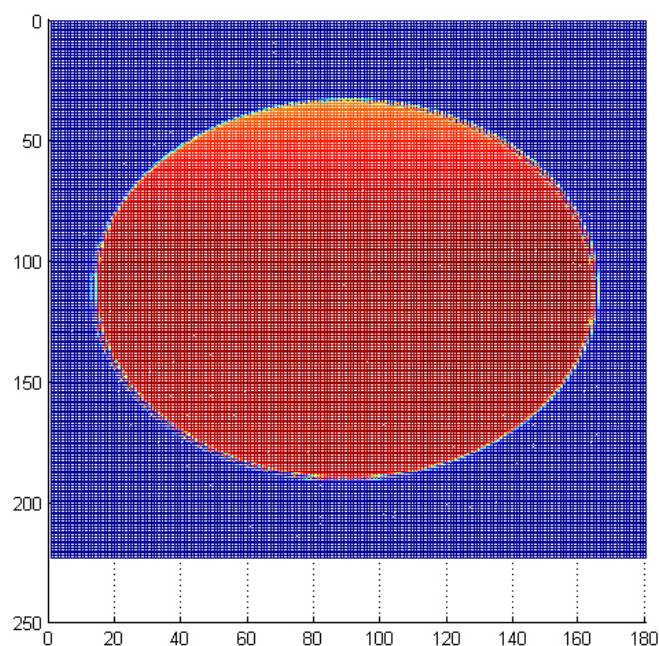
Una volta acquisita l'immagine, la foto viene elaborata, come già detto, mediante il software matlab. Tuttavia a causa della presenza del filtro ottico, l'immagine vista dal matlab in termini di matrici, presenta dei valori di luminanza discostati dai valori reali a seconda del fattore di attenuazione del filtro.

Inoltre a seconda dell'obiettivo scelto e dal diaframma della telecamera utilizzato nelle misure, i dati ricavati dovranno essere rettificati con una misura di luminanza su una sorgente campione, della quale si conosce con precisione il valore di luminanza costante lungo tutta la sua superficie.

Per le misure effettuate sono stati scelti:

- **Diaframma telecamera LMK96:** 5,6mm
- **Obiettivo Telecamera LMK96:** 50mm
- **Filtro Ottico:** 2OD
- **Diaframma sorgente:** 16mm

Da tale misura si ricaverà un fattore chiamato di calibrazione da moltiplicare ai valori di luminanza misurati; qui di seguito è riportata l'immagine acquisita dalla telecamera della sorgente campione.



Sono state effettuate due misure, e il fattore di calibrazione è il risultato della media dei due valori:

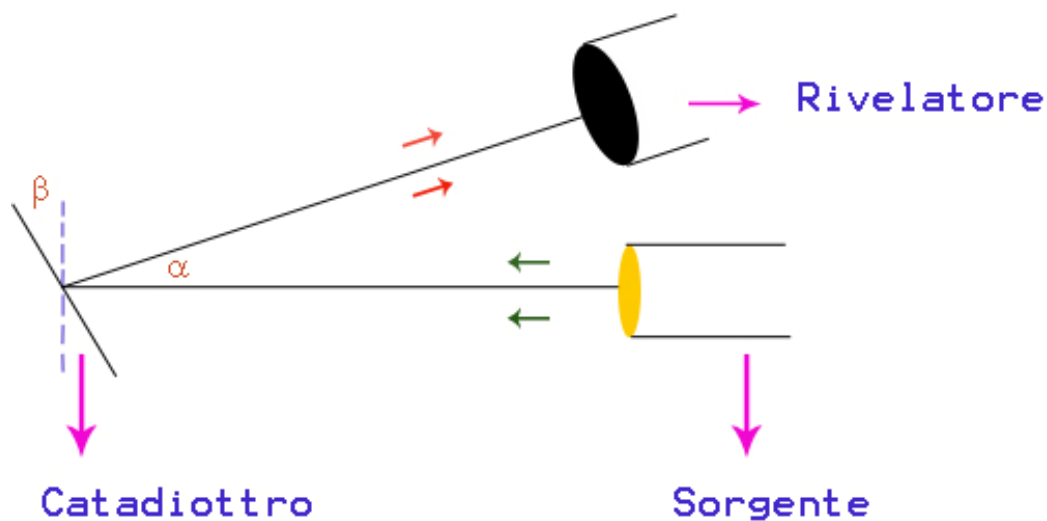
Luminanza (cd/m <sup>2</sup> )	sorg.	Campione	Luminanza LMK96 (cd/m <sup>2</sup> )	Fattore di calibrazione (-)
1048			1,51	694
769			1,1	699

Il *fattore di calibrazione* sarà pari a 696.

## 5.2 Valutazione del influenza della riflessione regolare

Uno degli obiettivi di questo lavoro di tesi è la valutazione del influenza della riflessione regolare, dovuta alla planarità del catadiottro e dalla posizione di quest'ultimo rispetto la sorgente.

In particolare la specularità della riflessione si verifica per angoli  $\beta = \alpha/2$  come indicato nella figura seguente:



Di seguito è riportata la procedura per la verifica con Matlab:

### ***Verifica\_Riflessione\_Regolare.m***

```
%Verifica della riflessione regolare

%La misura viene eseguita sul campione:
%EURO-NORM (E1 01021341) art2054.0 - ROSSO - RETTANGOLARE - Area = 90X40

clc
%1))
%Assegnazione nomi Directory e creazione Directory dei dati salvati
partenza=cd; %directory di lavoro che contiene i file m
cd ..;       %si sale di un livello di directory
radice=cd;   %directory radice
cd(partenza) %si ritorna nella directory di lavoro

%Assegnazione area del catadiottro
Area = 0.0036;

%assegnazione percorso file
partenza=pwd;
cd dati\19_10_2010;
dati=pwd;
cd(partenza);

%Variabili
beta=[0.2 0.4 0.6 0.8 1];
alpha=0.1:0.1:2;
Rareicotot=[1:1:20];
Rareicograf=ones(20,5);

%Ciclo operativo
q=0;
p=1;
v=1;
for p=1:5
    disp(['MISURA CON' num2str(beta(p)) 'gradi'])

    q=q+1;
    for v=1:20
        disp(['MISURA A' num2str(alpha(v)) 'gradi']);
        nome=[dati '\\' num2str(beta(p)) '\\' num2str(alpha(v)) '.txt']; %nome del
file contenente l'immagine
        fid=fopen(nome,'r');
        D=[dati '\\' num2str(beta(p)) '\\' 'Emis.txt'];
        D=fopen(D);
        Emismat=fscanf(D,'%g');
        cd(partenza);

%Acquisizione immagine da rivelatore LMK96

line=fgetl(fid); %salta la prima riga
dimens=fscanf(fid,'%g',[1,4]); %la seconda riga contiene informazioni
                                %sulle dimensioni della matrice
Mi=dimens(1); %primo pixel di colonna funzionante
```

```

Mf=dimens(2);           %ultimo pixel di colonna funzionante
Ni=dimens(3);           %primo pixel di riga funzionante
Nf=dimens(4);           %ultimo pixel di riga funzionante

M=Mf-Mi+1;              %numero righe
N=Nf-Ni+1;              %numero colonne

Lacq=fliplr(fscanf(fid,'%g',[N,inf]')); %matrice non calibrata della sorgente di
luminanza campione

fclose(fid);
clear fid line dimens

ind1=find(sum(Lacq));%ind1 è la matrice che contiene gli indici dei valori diversi
da zero, della matrice somma-colonne di Lacq
dim1=size(ind1);

Lacqb=Lacq.';
ind2=find(sum(Lacqb));%ind2 è la matrice che contiene gli indici dei valori diversi
da zero, della matrice somma-colonne di Lacqb
dim2=size(ind2);

Lac=695*(Lacq(ind2(1):ind2(dim2(2)),ind1(1):ind1(dim1(2))));%matrice          calibrata
della sorgente di luminanza campione

%-----
%Assegnazione Illuminamento misurato
Emis =Emismat(v);

%Valore massimo della Luminanza
Max = max(max(Lac));
disp('Valore massimo di luminanza=')
disp(Max)
Lim = 0.1*Max;

%Matrice b, numero di elementi considerati
ind3=size(Lac);
Lnum1=Lac;
x=1;
y=1;
while y <= ind3(2)
    while x <= ind3(1)
        if y<=ind3(2)
            if Lnum1(x,y)>=Lim
                Lnum1(x:ind3(1),y)=1;
                x=1;
                y=y+1;
            else Lnum1(x,y)=0;
                x=x+1;
                if x==ind3(1)
                    x=1;
                    y=y+1;
                end
            end
        else break
    end
end

```

```

        end
    end
end

Lnum2=flipud(Lac);
x=1;
y=1;
while y <= ind3(2)
    while x <= ind3(1)
        if y<=ind3(2)
            if Lnum2(x,y)>=Lim
                Lnum2(x:ind3(1),y)=1;
                x=1;
                y=y+1;
            else Lnum2(x,y)=0;
                x=x+1;
                if x==ind3(1)
                    x=1;
                    y=y+1;
                end
            end
        else break
    end
end
end

b=Lnum1 .* Lnum2; %Matrice unitaria x area del catadiotro effettivamente illuminata

%Dai dati ricevuti dal programma di acquisizione della foto vengono
%ricavati i valori del coefficiente areico di intensità luminosa Rareico
Somma1=sum(sum(Lac));
Somma2=sum(sum(b));
Lmedio = Somma1/Somma2;

disp('Luminanza media del catadiotro=')
disp(Lmedio)

%valore di intensità luminosa mediante calcolo con Lmed misurati
I = Lmedio*Area;

%calcolo del coefficiente di intensità luminosa espresso in cd/lx
R = I/Emis;

%calcolo del coefficiente areico di intensità luminosa espresso in
%cd/(lx*m^2)
Rareico = R/Area;

%stampa valori di Rareico
disp('coefficiente areico di intensità luminosa misurato')
disp('Rareico=')
disp(Rareico)

Rareicotot(v)=Rareico;
cd dati;

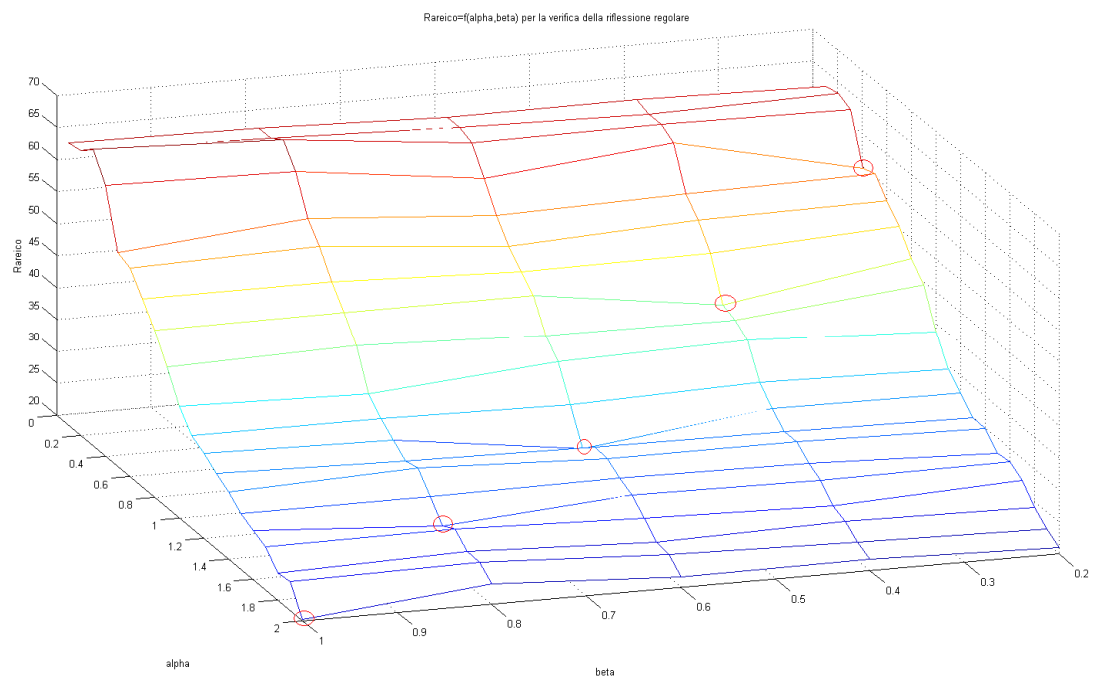
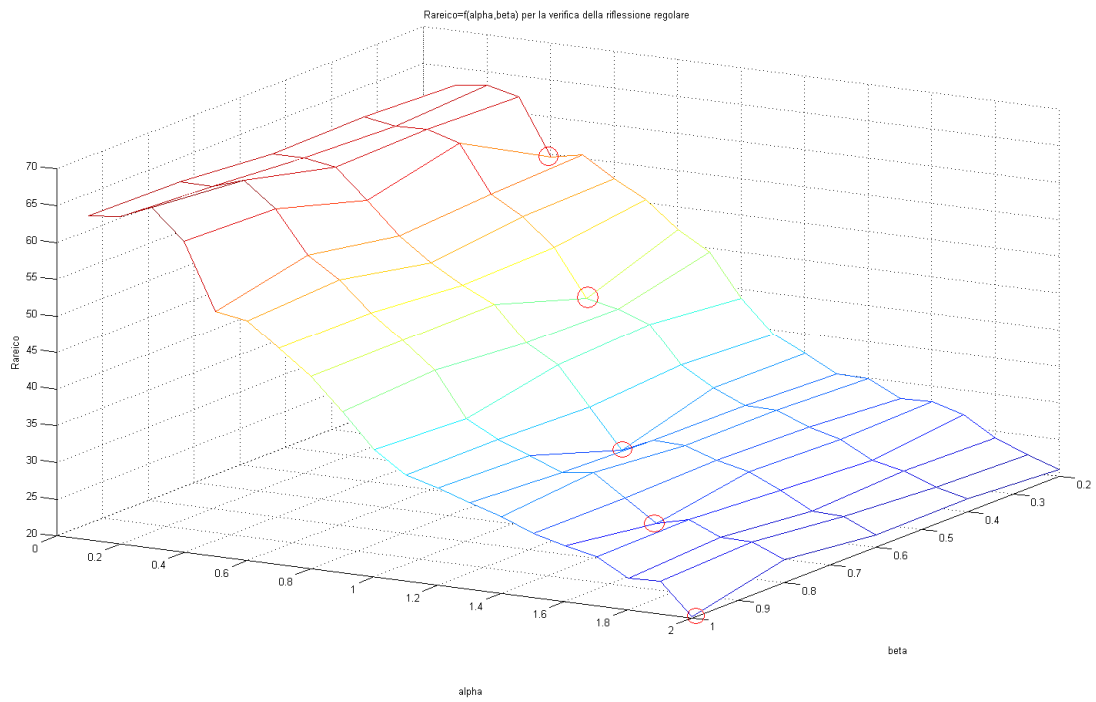
```

```

end
Rareicograf(:,q)=Rareicotot;
end

figure;
title('Rareico=f(alpha,beta) per la verifica della riflessione regolare')
hold on;
grid;
l=[0.1:0.1:2];
k=[0.2 0.4 0.6 0.8 1];
mesh(k,l,Rareicograf);
xlabel('beta'),ylabel('alpha'),zlabel('Rareico')

```



### 5.3 Osservazioni

La verifica è stata eseguita sul campione di colore rosso, sono state effettuate 5 misure dell'angolo di illuminazione  $\beta$  variando l'angolo di osservazione  $\alpha$  da  $0.1^\circ$  a  $2^\circ$ ; la misura è stata eseguita con angoli  $\beta$  positivi per ottenere volutamente la riflessione regolare.

Dal diagramma del coefficiente areico di intensità luminosa in funzione degli angoli di osservazione e illuminazione, si notano dei valori anomali nei punti  $\beta = \alpha/2$ ; in tali punti il coefficiente risulta alterato ad un valore più basso di quello che avrebbe realmente, questo a causa della riflessione speculare.

Inoltre al variare dell'angolo beta, le curve  $Rareico = f(\alpha)$ , viste nel diagramma  $Rareico = f(\alpha, \beta)$  non determinano una superficie continua, questo può essere imputabile alla non perfetta planarità del catadiottro

Da tali osservazioni possiamo dedurre che la caratterizzazione di un catadiottro non può avvenire in queste condizioni. Volendo effettuare la caratterizzazione per angoli di osservazione fino a  $2^\circ$ , la misura non potrà essere svolta per angoli di illuminazione pari o inferiori a  $1^\circ$ . Tuttavia scegliendo degli angoli  $\beta$  negativi, l'effetto della riflessione regolare viene eliminato completamente, anche per angoli di osservazione più elevati.



## 6 CARATTERIZZAZIONE DI 3 CATADIOTTRI CAMPIONE

### 6.1 Elaborazione dati

L'analisi parametrica del coefficiente areico di intensità luminosa, prevista in questo lavoro di tirocinio di questo lavoro di tirocinio verrà effettuata sui 3 campioni sopra indicati; verranno effettuate varie misure con angoli di osservazione che variano da 0.1 a 2° mentre per quanto riguarda gli angoli di illuminazione, per quanto detto nella verifica della riflessione regolare e come suggerito dalla Norma Uni 10828, saranno scelti negativi; gli angoli  $\beta$  scelti sono -2.5 -5 -7.5

Di seguito è riportata la procedura per la caratterizzazione dei 3 catadiottri in esame con Matlab; essa permette di calcolare anche l'errore all'apertura angolare della sorgente e del rivelatore, mentre il calcolo dell'errore sull'apertura angolare del catadiottro non verrà trattata in questo lavoro in quanto la determinazione di un errore di questo tipo richiede la misura di più angoli di illuminazione.

```
clc
%1))
%Assegnazione nomi Directory e creazione Directory dei dati salvati
partenza=cd; %directory di lavoro che contiene i file m
cd ..;       %si sale di un livello di directory
radice=cd;   %directory radice
cd(partenza) %si ritorna nella directory di lavoro

%assegnazione percorso file
partenza=pwd;
cd dati\24_09_10;
dati=pwd;
cd Rosso;
rosso=pwd;
cd(dati);
cd Giallo;
giallo=pwd;
cd(dati);
cd Bianco;
bianco=pwd;
cd(partenza);

%Fattore di calibrazione
Callibr=695;

%angoli di illuminazione per i quali viene effettuata la misura
beta=[-2.5 -5 -7.5];

%angoli di illuminazione per i quali viene effettuata la misura
alpha=0.1:0.1:2;

%Matrice dei valori dell'intensità di illuminazione
Intens=ones(20,3);

%Variabili operative per l'elaborazione dei dati
Alphamat=ones(20,3);
betamat=ones(3,20);
```

```

%Campione rosso
RareicototR=[1:1:20];
RtotR=[1:1:20];
LmediototR=[1:1:20];
Lmedio2totR=[1:1:20];
ItotR=[1:1:20];
FtotR=[1:1:20];
Lm1R=ones(20,3);
Lm2R=ones(20,3);
I1R=ones(20,3);
F1R=ones(20,3);
RareicografR=ones(20,3);
RtotgrafR=ones(20,3);

```

```

%Campione giallo
RareicototG=[1:1:20];
RtotG=[1:1:20];
LmediototG=[1:1:20];
Lmedio2totG=[1:1:20];
ItotG=[1:1:20];
FtotG=[1:1:20];
Lm1G=ones(20,3);
Lm2G=ones(20,3);
I1G=ones(20,3);
F1G=ones(20,3);
RareicografG=ones(20,3);
RtotgrafG=ones(20,3);

```

```

%Campione bianco
RareicototB=[1:1:20];
RtotB=[1:1:20];
LmediototB=[1:1:20];
Lmedio2totB=[1:1:20];
ItotB=[1:1:20];
FtotB=[1:1:20];
Lm1B=ones(20,3);
Lm2B=ones(20,3);
I1B=ones(20,3);
F1B=ones(20,3);
RareicografB=ones(20,3);
RtotgrafB=ones(20,3);

```

```

catadiottro_rosso;
catadiottro_giallo;
catadiottro_bianco;

```

### ***catadiottro\_rosso.m***

```

%Area Campione Rosso
Area = 0.0036;

```

```

%Acquisizione immagine da file
q=0;
p=1;

```

```

v=1;
for p=1:3
    disp(['MISURA CON' num2str(beta(p)) 'gradi'])

    q=q+1;
    for v=1:20
        disp(['MISURA A' num2str(alpha(v)) 'gradi']);
        nome=[rosso '\\' num2str(beta(p)) '\\' num2str(alpha(v)) '.txt']; %nome del
file contenente l'immagine
        fid=fopen(nome,'r');
        D=[rosso '\\' num2str(beta(p)) '\\' 'Emis.txt'];
        D=fopen(D);
        Emismat=fscanf(D,'%g');

cd(partenza);
line=fgetl(fid); %salta la prima riga
dimens=fscanf(fid,'%g',[1,4]); %la seconda riga contiene informazioni
                                %sulle dimensioni della matrice
Mi=dimens(1); %primo pixel di colonna funzionante
Mf=dimens(2); %ultimo pixel di colonna funzionante
Ni=dimens(3); %primo pixel di riga funzionante
Nf=dimens(4); %ultimo pixel di riga funzionante

M=Mf-Mi+1; %numero righe
N=Nf-Ni+1; %numero colonne

Lacq=fliplr(fscanf(fid,'%g',[N,inf]')); %matrice non calibrata della sorgente di
luminanza campione

fclose(fid);
clear fid line dimens

ind1=find(sum(Lacq)); %ind1 è la matrice che contiene gli indici dei valori diversi
da zero, della matrice somma-colonne di Lacq
dim1=size(ind1);

Lacqb=Lacq.';
ind2=find(sum(Lacqb)); %ind2 è la matrice che contiene gli indici dei valori diversi
da zero, della matrice somma-colonne di Lacqb
dim2=size(ind2);

Lac=Callibr*(Lacq(ind2(1):ind2(dim2(2)),ind1(1):ind1(dim1(2)))); %matrice calibrata
della sorgente di luminanza campione

%-----

%Assegnazione Illuminamento misurato
Emis =Emismat(v);

%-----

%Valore massimo della Luminanza
Max = max(max(Lac));
Lim = 0.1*Max;

```

```

%Matrice b, contenente il numero di elementi considerati
ind3=size(Lac);
Lnum1=Lac;
x=1;
y=1;
while y <= ind3(2)
    while x <= ind3(1)
        if y<=ind3(2)
            if Lnum1(x,y)>=Lim
                Lnum1(x:ind3(1),y)=1;
                x=1;
                y=y+1;
            else Lnum1(x,y)=0;
                x=x+1;
                if x==ind3(1)
                    x=1;
                    y=y+1;
                end
            end
        else break
        end
    end
end

Lnum2=flipud(Lac);
x=1;
y=1;
while y <= ind3(2)
    while x <= ind3(1)
        if y<=ind3(2)
            if Lnum2(x,y)>=Lim
                Lnum2(x:ind3(1),y)=1;
                x=1;
                y=y+1;
            else Lnum2(x,y)=0;
                x=x+1;
                if x==ind3(1)
                    x=1;
                    y=y+1;
                end
            end
        else break
        end
    end
end

b=Lnum1 .* Lnum2; %Matrice unitaria x area del catadiotro effettivamente illuminata
c = (Lac>Lim); %Matrice unitaria x area del catadiotro effettivamente
retroriflettente

%Dai dati ricevuti dal programma di acquisizione della foto vengono
%ricavati i valori del coefficiente di intensità luminosa R e coefficiente
%areico di intensità luminosa R'
Somma1=sum(sum(Lac));

```

```

Somma2=sum(sum(b));
Somma3=sum(sum(c));
Lmedio = Somma1/Somma2;
Lmedio2 = Somma1/Somma3;

%Rapporto areico=rapporto tra l area effettivamente retroriflettente e quella reale
F=(Somma3/Somma2)*100;

%Intensità luminosa misurata
I = Lmedio*Area;

%calcolo del coefficiente di intensità luminosa espresso in cd/lx
R = I/Emis;

%calcolo del coefficiente areico di intensità luminosa espresso in cd/(lx*m^2)
Rareico = R/Area;
disp('Valore del coefficiente di intensità luminosa areico in cd/(lx*m^2)')
disp(Rareico)

%-----

%Matrici che contengono i risultati della misura
RareicototR(v)=Rareico;
RtotR(v)=R;
LmediototR(v)=Lmedio;
Lmedio2totR(v)=Lmedio2;
ItotR(v)=I;
FtotR(v)=F;
Lm1R(:,q)=LmediototR;
Lm2R(:,q)=Lmedio2totR;
I1R(:,q)=ItotR;
F1R(:,q)=FtotR;
RareicografR(:,q)=RareicototR;
RtotgrafR(:,q)=RtotR;
Intens(:,q)=ItotR;
Alphamat(:,q)=alpha;
fclose ('all');
cd dati;

end

end
%Incertezze sulla misura
Intens1=Intens;
Alphamat1=Alphamat;
Deriv11=(diff(Intens1))./(diff(Alphamat1));
Deriv21=diff(Deriv11);
Alphaderiv11=Alphamat1;
Alphaderiv11(20,:)=[];
Deriv31=diff(Alphaderiv11);

```

```

Intens2=flipud(Intens1);
Alphamat2=flipud(Alphamat1);

Deriv12=(diff(Intens2))./(diff(Alphamat2));
Deriv22=diff(Deriv12);
Alphaderiv2=Alphamat2;
Alphaderiv2(20,:)=[];
Deriv32=diff(Alphaderiv2);

Derivsecond1=Deriv21./Deriv31;
Intens11=Intens1(1:18,:);
Errsorgm1=(Derivsecond1./Intens11).*((4/60)^2/24);

Derivsecond2=Deriv22./Deriv32;
Intens21=Intens1(1:18,:);
Errsorgm2=(Derivsecond2./Intens21).*((4/60)^2/24);

Errsorg1=max(max(Errsorgm1));
Errsorg2=max(max(Errsorgm2));

%Errore massimo relativo dell apertura angolare della sorgente
Err1=(Errsorg1+Errsorg2)/2;

Derivsecond1=Deriv21./Deriv31;
Intens11=Intens1(1:18,:);
Errrivelatm1=(Derivsecond1./Intens11).*((3.75/60)^2/24);

Derivsecond2=Deriv22./Deriv32;
Intens21=Intens1(1:18,:);
Errrivelatm2=(Derivsecond2./Intens21).*((3.75/60)^2/24);

Errrivelat1=max(max(Errrivelatm1));
Errrivelat2=max(max(Errrivelatm2));

%Errore massimo relativo dell apertura angolare del rivelatore
Err2=(Errrivelat1+Errrivelat2)/2;

%-----

%Stampa
%Luminanza media
disp('Luminanza media del catadiotro effettiva=')
disp(LmediototR)

disp('Luminanza media del catadiotro approssimativa senza difetti=')
disp(Lmedio2totR)

%valori di intensità luminosa mediante calcolo con Lmed misurati
disp('valori di intensità luminosa mediante calcolo con Lmed misurati')
disp(ItotR)

disp('Rapporto tra l area effettivamente retroriflettente e quella reale')
disp(FtotR)

```

```

disp('Errore massimo relativo dell apertura angolare della sorgente=')
disp(Err1)

disp('Errore massimo relativo dell apertura angolare del rivelatore=')
disp(Err2)

%-----

%Grafici
figure;
title('Rareico-Rosso=f(alpha,beta)')
hold on;
grid;
l=[0.1:0.1:2];
k=[-2.5 -5 -7.5];
mesh(k,l,RareicografR);
xlabel('beta'),ylabel('alpha'),zlabel('Rareico')

figure
title('R-Rosso=f(alpha,beta)')
hold on;
grid;
mesh(k,l,RtotgrafR);
xlabel('beta'),ylabel('alpha'),zlabel('R')
cd(partenza);

```

### ***catadiottro\_giallo.m***

```

%Area Campione Giallo
Area = 0.0019625;

%Acquisizione immagine da file
q=0;
p=1;
v=1;
for p=1:3
    disp(['MISURA CON' num2str(beta(p)) 'gradi'])

    q=q+1;
    for v=1:20
        disp(['MISURA A' num2str(alpha(v)) 'gradi']);
        nome=[giallo '\ ' num2str(beta(p)) '\ ' num2str(alpha(v)) '.txt']; %nome del
file contenente l'immagine
        fid=fopen(nome,'r');
        D=[giallo '\ ' num2str(beta(p)) '\ ' 'Emis.txt'];
        D=fopen(D);
        Emismat=fscanf(D,'%g');

    cd(partenza);
    line=fgetl(fid);
    dimens=fscanf(fid,'%g',[1,4]);
    %salta la prima riga
    %la seconda riga contiene informazioni

```

```

                                %sulle dimensioni della matrice
Mi=dimens(1);                  %primo pixel di colonna funzionante
Mf=dimens(2);                  %ultimo pixel di colonna funzionante
Ni=dimens(3);                  %primo pixel di riga funzionante
Nf=dimens(4);                  %ultimo pixel di riga funzionante

M=Mf-Mi+1;                     %numero righe
N=Nf-Ni+1;                     %numero colonne

Lacq=fliplr(fscanf(fid,'%g',[N,inf]')); %matrice non calibrata della sorgente di
luminanza campione

fclose(fid);
clear fid line dimens

ind1=find(sum(Lacq));%ind1 è la matrice che contiene gli indici dei valori diversi
da zero, della matrice somma-colonne di Lacq
dim1=size(ind1);

Lacqb=Lacq.';
ind2=find(sum(Lacqb));%ind2 è la matrice che contiene gli indici dei valori diversi
da zero, della matrice somma-colonne di Lacqb
dim2=size(ind2);

Lac=Callibr*(Lacq(ind2(1):ind2(dim2(2)),ind1(1):ind1(dim1(2))));%matrice calibrata
della sorgente di luminanza campione

%-----

%Assegnazione Illuminamento misurato
Emis =Emismat(v);

%-----

%Valore massimo della Luminanza
Max = max(max(Lac));
Lim = 0.1*Max;

%Matrice b, contenente il numero di elementi considerati
ind3=size(Lac);
Lnum1=Lac;
x=1;
y=1;
while y <= ind3(2)
    while x <= ind3(1)
        if y<=ind3(2)
            if Lnum1(x,y)>=Lim
                Lnum1(x:ind3(1),y)=1;
                x=1;
                y=y+1;
            else Lnum1(x,y)=0;
                x=x+1;
                if x==ind3(1)
                    x=1;
                    y=y+1;

```



```

        end
    end
    else break
    end
end
end

Lnum2=flipud(Lac);
x=1;
y=1;
while y <= ind3(2)
    while x <= ind3(1)
        if y<=ind3(2)
            if Lnum2(x,y)>=Lim
                Lnum2(x:ind3(1),y)=1;
                x=1;
                y=y+1;
            else Lnum2(x,y)=0;
                x=x+1;
                if x==ind3(1)
                    x=1;
                    y=y+1;
                end
            end
        end
    end
    else break
    end
end
end

b=Lnum1 .* Lnum2; %Matrice unitaria x area del catadiotro effettivamente illuminata
c = (Lac>Lim); %Matrice unitaria x area del catadiotro effettivamente
retroreflettente

%Dai dati ricevuti dal programma di acquisizione della foto vengono
%ricavati i valori del coefficiente di intensità luminosa R e coefficiente
%areico di intensità luminosa R'
Somma1=sum(sum(Lac));
Somma2=sum(sum(b));
Somma3=sum(sum(c));
Lmedio = Somma1/Somma2;
Lmedio2 = Somma1/Somma3;

%Rapporto areico=rapporto tra l area effettivamente retroreflettente e quella reale
F=(Somma3/Somma2)*100;

%Intensità luminosa misurata
I = Lmedio*Area;

%calcolo del coefficiente di intensità luminosa espresso in cd/lx
R = I/Emis;

%calcolo del coefficiente areico di intensità luminosa espresso in cd/(lx*m^2)
Rareico = R/Area;

```

```
disp('Valore del coefficiente di intensità luminosa areico in cd/(lx*m^2)')
disp(Rareico)
```

```
%-----
```

```
%Matrici che contengono i risultati della misura
```

```
RareicototG(v)=Rareico;
RtotG(v)=R;
LmediototG(v)=Lmedio;
Lmedio2totG(v)=Lmedio2;
ItotG(v)=I;
FtotG(v)=F;
Lm1G(:,q)=LmediototG;
Lm2G(:,q)=Lmedio2totG;
I1G(:,q)=ItotG;
F1G(:,q)=FtotG;
RareicografG(:,q)=RareicototG;
RtotgrafG(:,q)=RtotG;
Intens(:,q)=ItotG;
Alphamat(:,q)=alpha;
fclose ('all');
cd dati;
```

```
end
```

```
end
```

```
%Incertezze sulla misura
```

```
Intens1=Intens;
Alphamat1=Alphamat;
Deriv11=(diff(Intens1))./(diff(Alphamat1));
Deriv21=diff(Deriv11);
Alphaderiv11=Alphamat1;
Alphaderiv11(20,:)=[];
Deriv31=diff(Alphaderiv11);

Intens2=flipud(Intens1);
Alphamat2=flipud(Alphamat1);

Deriv12=(diff(Intens2))./(diff(Alphamat2));
Deriv22=diff(Deriv12);
Alphaderiv2=Alphamat2;
Alphaderiv2(20,:)=[];
Deriv32=diff(Alphaderiv2);

Derivsecond1=Deriv21./Deriv31;
Intens11=Intens1(1:18,:);
Errsorgm1=(Derivsecond1./Intens11).*((4/60)^2/24);

Derivsecond2=Deriv22./Deriv32;
Intens21=Intens1(1:18,:);
Errsorgm2=(Derivsecond2./Intens21).*((4/60)^2/24);

Errsorg1=max(max(Errsorgm1));
```

```

Errsorg2=max(max(Errsorgm2));

%Errore massimo relativo dell apertura angolare della sorgente
Err1=(Errsorg1+Errsorg2)/2;

Derivsecond1=Deriv21./Deriv31;
Intens11=Intens1(1:18,:);
Errrivelatm1=(Derivsecond1./Intens11).*((3.75/60)^2/24);

Derivsecond2=Deriv22./Deriv32;
Intens21=Intens1(1:18,:);
Errrivelatm2=(Derivsecond2./Intens21).*((3.75/60)^2/24);

Errrivelat1=max(max(Errrivelatm1));
Errrivelat2=max(max(Errrivelatm2));

%Errore massimo relativo dell apertura angolare del rivelatore
Err2=(Errrivelat1+Errrivelat2)/2;

%-----

%Stampa
%Luminanza media
disp('Luminanza media del catadietro effettiva=')
disp(LmediototG)

disp('Luminanza media del catadietro approssimativa senza difetti=')
disp(Lmedio2totG)

%valori di intensità luminosa mediante calcolo con Lmed misurati
disp('valori di intensità luminosa mediante calcolo con Lmed misurati')
disp(ItotG)

disp('Rapporto tra l area effettivamente retroriflettente e quella reale')
disp(FtotG)

disp('Errore massimo relativo dell apertura angolare della sorgente=')
disp(Err1)

disp('Errore massimo relativo dell apertura angolare del rivelatore=')
disp(Err2)

%-----

%Grafici
figure;
title('Rareico-Giallo=f(alpha,beta)')
hold on;
grid;
l=[0.1:0.1:2];
k=[-2.5 -5 -7.5];
mesh(k,l,RareicografG);

```

```

xlabel('beta'),ylabel('alpha'),zlabel('Rareico')

figure
title('R-Giallo=f(alpha,beta)')
hold on;
grid;
mesh(k,l,RtotgrafG);
xlabel('beta'),ylabel('alpha'),zlabel('R')
cd(partenza);

```

### ***catadiottro\_bianco.m***

```

%Area Campione Bianco
Area = 0.0019625;

%Acquisizione immagine da file
q=0;
p=1;
v=1;
for p=1:3
    disp(['MISURA CON' num2str(beta(p)) 'gradi'])

    q=q+1;
    for v=1:20
        disp(['MISURA A' num2str(alpha(v)) 'gradi']);
        nome=[bianco '\ ' num2str(beta(p)) '\ ' num2str(alpha(v)) '.txt']; %nome del
file contenente l'immagine
        fid=fopen(nome,'r');
        D=[bianco '\ ' num2str(beta(p)) '\ ' 'Emis.txt'];
        D=fopen(D);
        Emismat=fscanf(D,'%g');

cd(partenza);
line=fgetl(fid);
dimens=fscanf(fid,'%g',[1,4]); %salta la prima riga
                                %la seconda riga contiene informazioni
                                %sulle dimensioni della matrice
Mi=dimens(1); %primo pixel di colonna funzionante
Mf=dimens(2); %ultimo pixel di colonna funzionante
Ni=dimens(3); %primo pixel di riga funzionante
Nf=dimens(4); %ultimo pixel di riga funzionante

M=Mf-Mi+1; %numero righe
N=Nf-Ni+1; %numero colonne

Lacq=flipplr(fscanf(fid,'%g',[N,inf]')); %matrice non calibrata della sorgente di
luminanza campione

fclose(fid);
clear fid line dimens

ind1=find(sum(Lacq));%ind1 è la matrice che contiene gli indici dei valori diversi
da zero, della matrice somma-colonne di Lacq
dim1=size(ind1);

```

```

Lacqb=Lacq.';
ind2=find(sum(Lacqb));%ind2 è la matrice che contiene gli indici dei valori diversi
da zero, della matrice somma-colonne di Lacqb
dim2=size(ind2);

Lac=Callibr*(Lacq(ind2(1):ind2(dim2(2)),ind1(1):ind1(dim1(2))));%matrice calibrata
della sorgente di luminanza campione

%-----

%Assegnazione Illuminamento misurato
Emis =Emismat(v);

%-----

%Valore massimo della Luminanza
Max = max(max(Lac));
Lim = 0.1*Max;

%Matrice b, contenente il numero di elementi considerati
ind3=size(Lac);
Lnum1=Lac;
x=1;
y=1;
while y <= ind3(2)
    while x <= ind3(1)
        if y<=ind3(2)
            if Lnum1(x,y)>=Lim
                Lnum1(x:ind3(1),y)=1;
                x=1;
                y=y+1;
            else Lnum1(x,y)=0;
                x=x+1;
                if x==ind3(1)
                    x=1;
                    y=y+1;
                end
            end
        else break
        end
    end
end

Lnum2=flipud(Lac);
x=1;
y=1;
while y <= ind3(2)
    while x <= ind3(1)
        if y<=ind3(2)
            if Lnum2(x,y)>=Lim
                Lnum2(x:ind3(1),y)=1;
                x=1;
                y=y+1;
            else Lnum2(x,y)=0;

```

```

        x=x+1;
        if x==ind3(1)
            x=1;
            y=y+1;
        end
    end
else break
end
end
end

b=Lnum1 .* Lnum2; %Matrice unitaria x area del catadiotro effettivamente illuminata
c = (Lac>Lim); %Matrice unitaria x area del catadiotro effettivamente
retroriflettente

%Dai dati ricevuti dal programma di acquisizione della foto vengono
%ricavati i valori del coefficiente di intensità luminosa R e coefficiente
%areico di intensità luminosa R'
Somma1=sum(sum(Lac));
Somma2=sum(sum(b));
Somma3=sum(sum(c));
Lmedio = Somma1/Somma2;
Lmedio2 = Somma1/Somma3;

%Rapporto areico=rapporto tra l area effettivamente retroriflettente e quella reale
F=(Somma3/Somma2)*100;

%Intensità luminosa misurata
I = Lmedio*Area;

%calcolo del coefficiente di intensità luminosa espresso in cd/lx
R = I/Emis;

%calcolo del coefficiente areico di intensità luminosa espresso in cd/(lx*m^2)
Rareico = R/Area;
disp('Valore del coefficiente di intensità luminosa areico in cd/(lx*m^2)')
disp(Rareico)

%-----

%Matrici che contengono i risultati della misura
RareicototB(v)=Rareico;
RtotB(v)=R;
LmediototB(v)=Lmedio;
Lmedio2totB(v)=Lmedio2;
ItotB(v)=I;
FtotB(v)=F;
Lm1B(:,q)=LmediototB;
Lm2B(:,q)=Lmedio2totB;
I1B(:,q)=ItotB;
F1B(:,q)=FtotB;
RareicografB(:,q)=RareicototB;
RtotgrafB(:,q)=RtotB;

```

```

Intens(:,q)=ItotB;
Alphamat(:,q)=alpha;
fclose ('all');
cd dati;

end

end

%Incertezze sulla misura
Intens1=Intens;
Alphamat1=Alphamat;
Deriv11=(diff(Intens1))./(diff(Alphamat1));
Deriv21=diff(Deriv11);
Alphaderiv11=Alphamat1;
Alphaderiv11(20,:)=[];
Deriv31=diff(Alphaderiv11);

Intens2=flipud(Intens1);
Alphamat2=flipud(Alphamat1);

Deriv12=(diff(Intens2))./(diff(Alphamat2));
Deriv22=diff(Deriv12);
Alphaderiv2=Alphamat2;
Alphaderiv2(20,:)=[];
Deriv32=diff(Alphaderiv2);

Derivsecond1=Deriv21./Deriv31;
Intens11=Intens1(1:18,:);
Errsorgm1=(Derivsecond1./Intens11).*((4/60)^2/24);

Derivsecond2=Deriv22./Deriv32;
Intens21=Intens1(1:18,:);
Errsorgm2=(Derivsecond2./Intens21).*((4/60)^2/24);

Errsorg1=max(max(Errsorgm1));
Errsorg2=max(max(Errsorgm2));

%Errore massimo relativo dell apertura angolare della sorgente
Err1=(Errsorg1+Errsorg2)/2;

Derivsecond1=Deriv21./Deriv31;
Intens11=Intens1(1:18,:);
Errrivelatm1=(Derivsecond1./Intens11).*((3.75/60)^2/24);

Derivsecond2=Deriv22./Deriv32;
Intens21=Intens1(1:18,:);
Errrivelatm2=(Derivsecond2./Intens21).*((3.75/60)^2/24);

Errrivelat1=max(max(Errrivelatm1));
Errrivelat2=max(max(Errrivelatm2));

```

```

%Errore massimo relativo dell apertura angolare del rivelatore
Err2=(Errrivelat1+Errrivelat2)/2;

%-----

%Stampa
%Luminanza media
disp('Luminanza media del catadiotro effettiva=')
disp(LmediototB)

disp('Luminanza media del catadiotro approssimativa senza difetti=')
disp(Lmedio2totB)

%valori di intensità luminosa mediante calcolo con Lmed misurati
disp('valori di intensità luminosa mediante calcolo con Lmed misurati')
disp(ItotB)

disp('Rapporto tra l area effettivamente retroriflettente e quella reale')
disp(FtotB)

disp('Errore massimo relativo dell apertura angolare della sorgente=')
disp(Err1)

disp('Errore massimo relativo dell apertura angolare del rivelatore=')
disp(Err2)

%-----

%Grafici
figure;
title('Rareico-Bianco=f(alpha,beta)')
hold on;
grid;
l=[0.1:0.1:2];
k=[-2.5 -5 -7.5];
mesh(k,l,RareicografB);
xlabel('beta'),ylabel('alpha'),zlabel('Rareico')

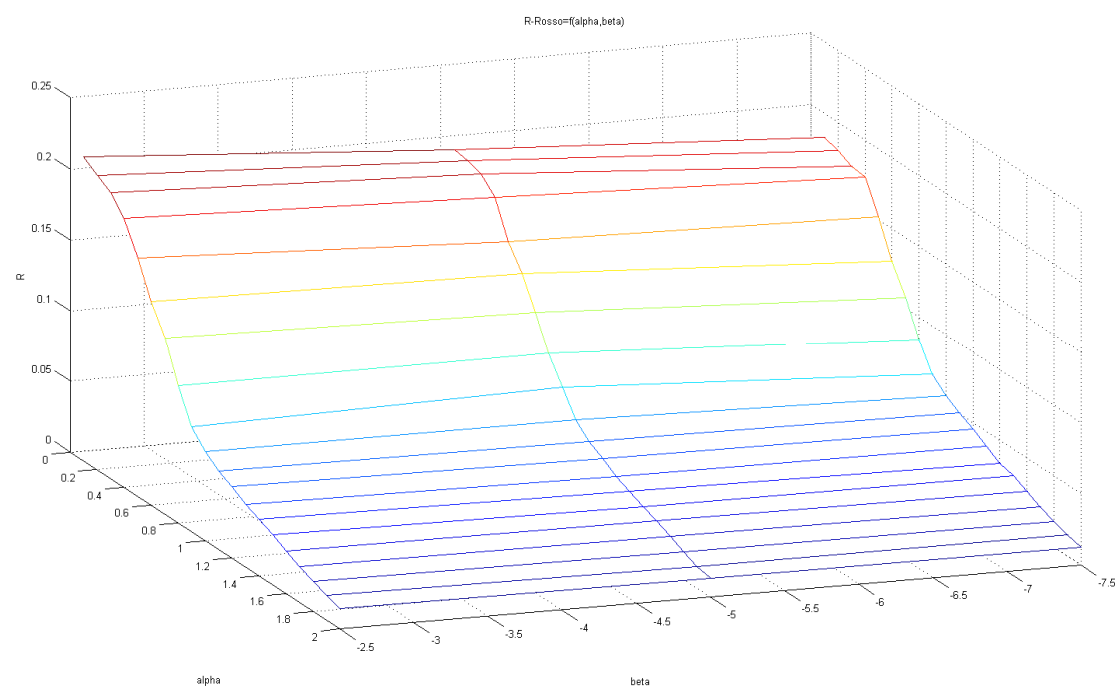
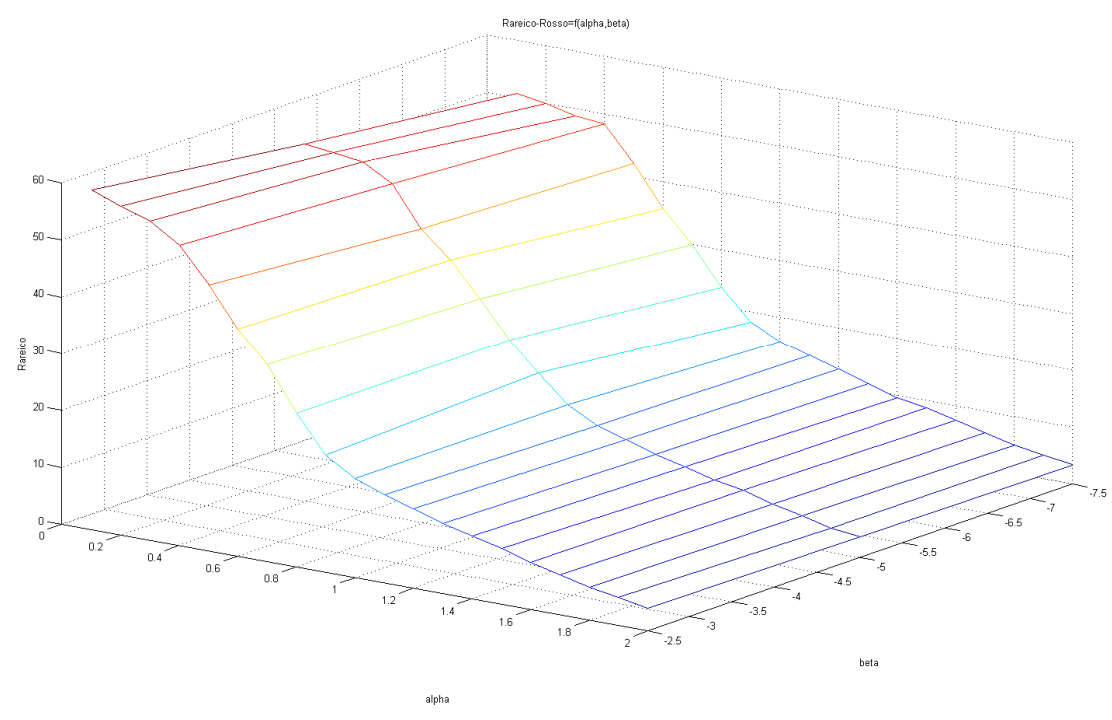
figure
title('R-Bianco=f(alpha,beta)')
hold on;
grid;
mesh(k,l,RtotgrafB);
xlabel('beta'),ylabel('alpha'),zlabel('R')
cd(partenza);

```



6.2 Risultati

1-Campione Rosso



Catadiottro Rosso			$\beta=-2,5$		
<b>Lmed effettiva</b> cd/m <sup>2</sup>	<b>Lmed appross senza difetti</b> cd/m <sup>2</sup>	<b>F</b> %	<b>Imis</b> cd	<b>R</b> cd/lx	<b>Rareico</b> Cd/(lx*m <sup>2</sup> )
885,82	1078,79	82,11	3,189	0,2147	59,6511
897,51	1097,58	81,77	3,231	0,2082	57,8295
871,27	1042,28	83,59	3,137	0,2021	56,1385
819,29	953,90	85,89	2,949	0,1900	52,7895
726,17	867,54	83,70	2,614	0,1684	46,7893
620,91	757,88	81,93	2,235	0,1440	40,0073
537,62	611,38	87,93	1,935	0,1247	34,6402
417,84	487,93	85,64	1,504	0,0969	26,9228
320,12	364,18	87,90	1,152	0,0743	20,6260
271,17	306,52	88,47	0,976	0,0629	17,4723
214,62	231,44	92,73	0,773	0,0555	15,4290
217,76	247,71	87,91	0,784	0,0505	14,0307
191,21	211,27	90,51	0,688	0,0444	12,3203
171,67	192,85	89,02	0,618	0,0398	11,0610
151,63	167,78	90,38	0,546	0,0352	9,7698
129,70	142,05	91,30	0,467	0,0301	8,3567
110,14	120,50	91,40	0,396	0,0255	7,0966
91,14	101,10	90,15	0,328	0,0211	5,8726
76,78	79,75	96,28	0,276	0,0178	4,9475
61,99	67,94	91,24	0,223	0,0144	3,9943

Catadiottro Rosso		$\beta=-5$			
Lmed effettiva cd/m <sup>2</sup>	Lmed appross senza difetti cd/m <sup>2</sup>	F %	Imis cd	R cd/lx	Rareico Cd/(lx*m <sup>2</sup> )
833,73	992,96	83,96	3,001	0,1972	54,7785
860,95	998,41	86,23	3,099	0,1955	54,3187
848,02	1039,86	81,55	3,053	0,1926	53,5028
803,62	942,51	85,26	2,893	0,1825	50,7013
692,44	786,42	88,05	2,493	0,1573	43,6868
620,95	708,02	87,70	2,235	0,1410	39,1769
527,90	610,83	86,42	1,900	0,1199	33,3057
428,38	488,93	87,62	1,542	0,0973	27,0273
349,63	395,96	88,30	1,259	0,0794	22,0588
276,34	329,00	83,99	0,995	0,0628	17,4346
234,14	266,96	87,70	0,843	0,0532	14,7721
208,97	229,53	91,04	0,752	0,0475	13,1843
182,74	207,22	88,19	0,658	0,0415	11,5295
163,72	180,27	90,82	0,589	0,0372	10,3295
142,26	152,31	93,40	0,512	0,0323	8,9755
127,43	134,66	94,63	0,459	0,0289	8,0397
104,98	111,24	94,38	0,378	0,0238	6,6234
85,84	92,24	93,06	0,309	0,0195	5,4157
67,06	74,29	90,27	0,241	0,0152	4,2311
57,43	63,13	90,96	0,207	0,0130	3,6230

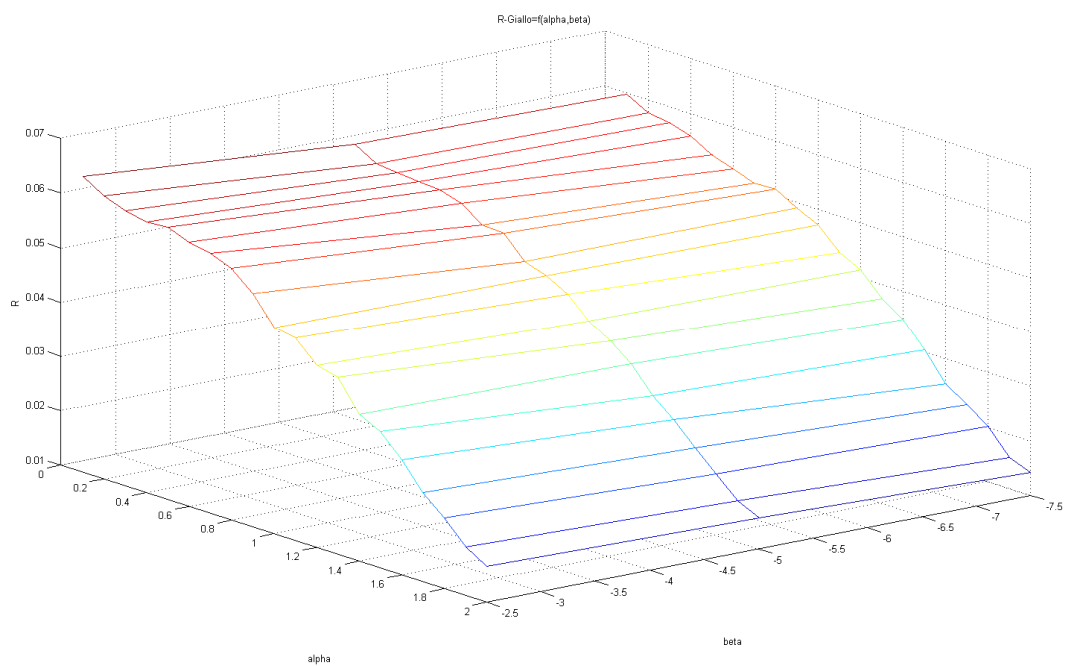
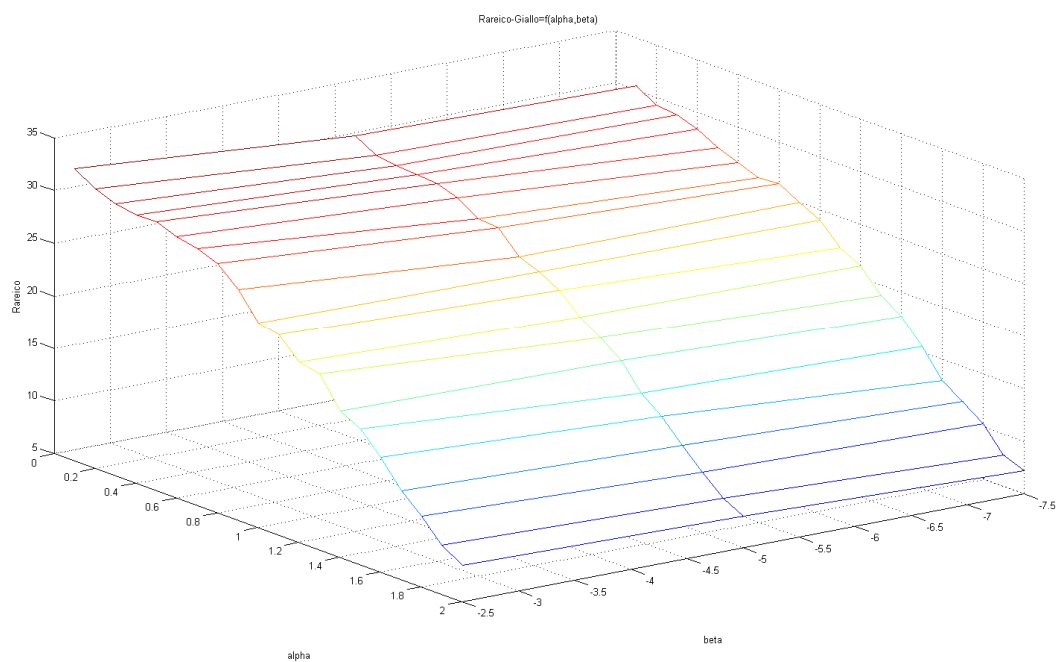
Catadiottro Rosso		$\beta = -7,5$			
Lmed effettiva cd/m <sup>2</sup>	Lmed appross senza difetti cd/m <sup>2</sup>	F %	Imis cd	R cd/lx	Rareico Cd/(lx*m <sup>2</sup> )
765,05	870,31	87,91	2,754	0,1830	50,8341
765,05	870,31	87,91	2,754	0,1798	49,9382
781,56	918,12	85,13	2,814	0,1752	48,6647
779,32	888,99	87,66	2,806	0,1736	48,2252
682,55	761,35	89,65	2,457	0,1521	42,2367
570,68	662,33	86,16	2,054	0,1271	35,3142
483,59	547,46	88,33	1,741	0,1077	29,9249
379,05	440,47	86,06	1,365	0,0844	23,4559
294,99	334,52	88,18	1,062	0,0657	18,2541
254,94	275,08	92,68	0,918	0,0568	15,7760
229,93	254,86	90,22	0,828	0,0512	14,2282
204,25	222,92	91,62	0,735	0,0455	12,6391
178,77	193,20	92,53	0,644	0,0398	11,0626
154,13	170,39	90,46	0,555	0,0343	9,5378
141,38	145,78	96,98	0,509	0,0315	8,7489
120,35	129,39	93,01	0,433	0,0268	7,4475
99,77	107,47	92,83	0,359	0,0222	6,1738
79,74	86,04	92,68	0,287	0,0178	4,9346
65,84	71,04	92,68	0,237	0,0147	4,0745
54,29	57,16	94,98	0,195	0,0121	3,3597

### Verifica degli errori relativi degli angoli di apertura

Per il Catadiottro Rosso abbiamo:

- *Errore massimo relativo dell'apertura angolare della sorgente = 0.46%*
- *Errore massimo relativo dell'apertura angolare del rivelatore = 0.41%*

## 2-Campione Giallo



Catadiottro Giallo		$\beta=-2,5$			
<b>Lmed effettiva cd/m<sup>2</sup></b>	<b>Lmed appross senza difetti cd/m<sup>2</sup></b>	<b>F %</b>	<b>Imis cd</b>	<b>R cd/lx</b>	<b>Rareico Cd/(lx*m<sup>2</sup>)</b>
439,52	521,48	84,28	0,863	0,0643	32,7508
439,52	521,48	84,28	0,863	0,0620	31,5744
478,73	564,72	84,77	0,940	0,0606	30,8657
472,77	577,41	81,88	0,928	0,0598	30,4817
504,75	599,73	84,16	0,991	0,0600	30,5724
492,81	598,70	82,31	0,967	0,0586	29,8494
500,01	584,67	85,52	0,981	0,0578	29,4471
474,28	576,18	82,31	0,931	0,0564	28,7269
445,22	545,94	81,55	0,874	0,0529	26,9666
403,18	512,49	78,67	0,791	0,0479	24,4206
397,19	480,86	82,60	0,779	0,0472	24,0574
365,01	456,26	80,00	0,716	0,0434	22,1083
358,07	418,35	85,59	0,703	0,0426	21,6883
311,44	383,07	81,30	0,611	0,0370	18,8638
295,25	348,66	84,68	0,579	0,0351	17,8831
262,15	309,81	84,62	0,514	0,0312	15,8781
221,50	272,31	81,34	0,435	0,0263	13,4163
193,49	227,92	84,89	0,380	0,0230	11,7193
159,46	189,41	84,19	0,313	0,0190	9,6585
139,60	165,08	84,57	0,274	0,0166	8,4555

Catadiottro Giallo		$\beta=-5$			
Lmed effettiva cd/m <sup>2</sup>	Lmed appross senza difetti cd/m <sup>2</sup>	F %	Imis cd	R cd/lx	Rareico Cd/(lx*m <sup>2</sup> )
402,10	494,56	81,30	0,789	0,0604	30,7653
402,10	494,56	81,30	0,789	0,0582	29,6317
467,04	556,18	83,97	0,917	0,0576	29,3738
473,38	579,28	81,72	0,929	0,0573	29,2209
491,82	587,78	83,67	0,965	0,0571	29,1017
480,81	585,22	82,16	0,944	0,0558	28,4504
458,38	559,84	81,88	0,900	0,0532	27,1234
432,19	541,94	79,75	0,848	0,0529	26,9784
421,74	525,80	80,21	0,828	0,0490	24,9553
410,19	486,90	84,25	0,805	0,0476	24,2716
371,31	463,66	80,08	0,729	0,0455	23,1777
360,32	445,48	80,88	0,707	0,0418	21,3206
339,17	403,90	83,97	0,666	0,0394	20,0692
313,81	360,36	87,08	0,616	0,0364	18,5688
273,42	322,88	84,68	0,537	0,0318	16,1787
247,46	289,45	85,49	0,486	0,0287	14,6427
213,04	244,25	87,22	0,418	0,0247	12,6062
182,55	216,37	84,37	0,358	0,0212	10,8016
151,43	173,17	87,44	0,297	0,0176	8,9601
134,77	154,93	86,99	0,264	0,0156	7,9743

Catadiottro Giallo		$\beta = -7,5$			
Lmed effettiva cd/m <sup>2</sup>	Lmed appross senza difetti cd/m <sup>2</sup>	F %	Imis cd	R cd/lx	Rareico Cd/(lx*m <sup>2</sup> )
395,60	492,60	80,31	0,776	0,0597	30,4076
395,60	492,60	80,31	0,776	0,0575	29,3039
440,70	531,01	82,99	0,865	0,0571	29,0891
459,25	562,95	81,58	0,901	0,0558	28,4364
469,21	560,77	83,67	0,921	0,0537	27,3594
457,47	547,73	83,52	0,898	0,0523	26,6748
445,55	539,85	82,53	0,874	0,0510	25,9798
446,83	528,18	84,60	0,877	0,0511	26,0542
428,51	496,23	86,35	0,841	0,0490	24,9861
387,47	475,80	81,43	0,760	0,0471	23,9918
369,97	451,35	81,97	0,726	0,0433	22,0880
350,00	426,28	82,11	0,687	0,0415	21,1225
326,65	391,47	83,44	0,641	0,0373	19,0244
286,24	347,27	82,43	0,562	0,0347	17,7020
265,91	314,01	84,68	0,522	0,0304	15,4869
223,03	273,93	81,42	0,438	0,0254	12,9669
200,71	238,09	84,30	0,394	0,0229	11,6694
176,07	198,98	88,49	0,346	0,0201	10,2366
137,52	162,53	84,62	0,270	0,0157	7,9956
124,46	141,82	87,76	0,244	0,0142	7,2359

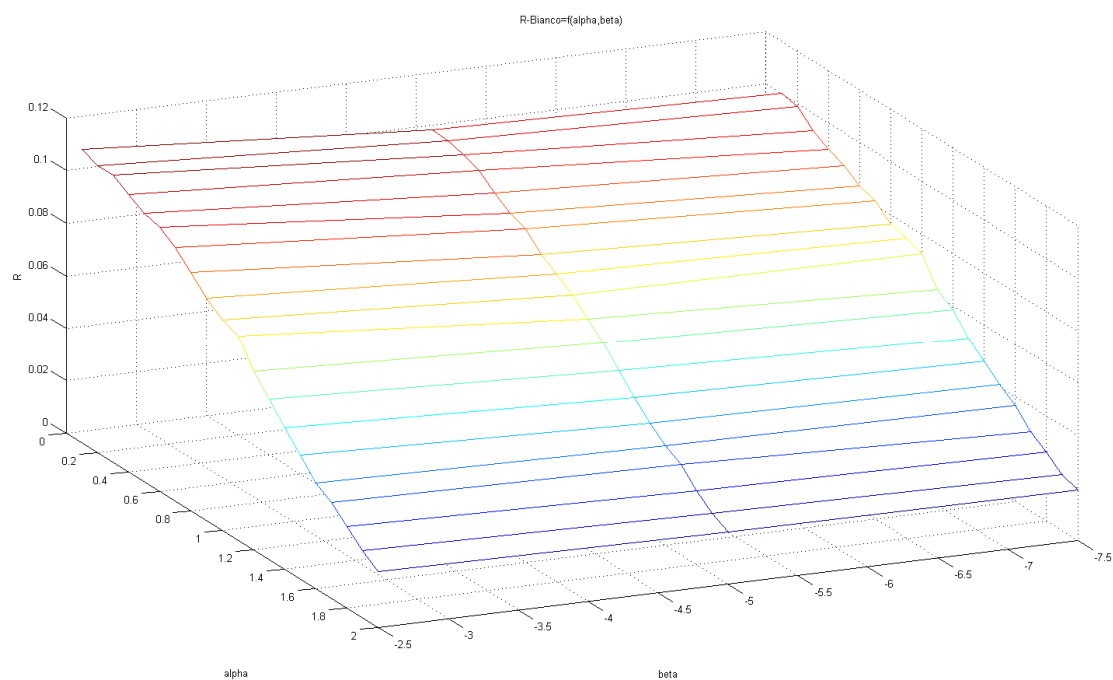
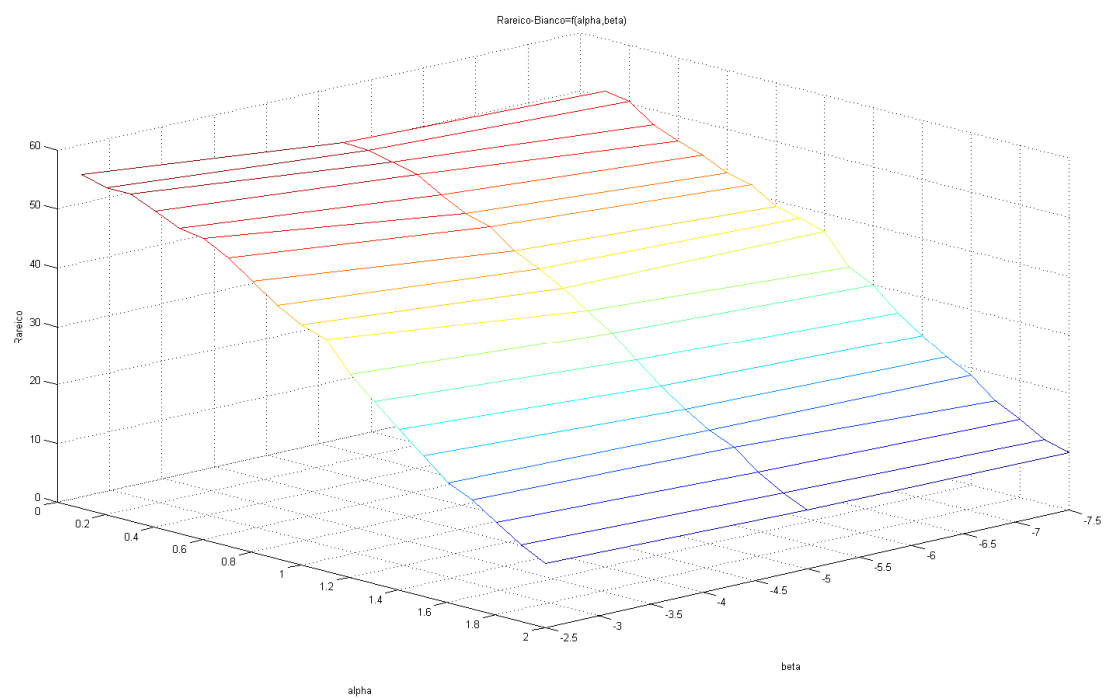
### Verifica degli errori relativi degli angoli di apertura

Per il Catadiottro Giallo abbiamo:

- *Errore massimo relativo dell'apertura angolare della sorgente = 0.48%*
- *Errore massimo relativo dell'apertura angolare del rivelatore = 0.42%*



### 3-Campione Bianco



Catadiottro Bianco		$\beta=-2,5$			
<b>Lmed effettiva</b> <b>cd/m<sup>2</sup></b>	<b>Lmed appross senza difetti</b> <b>cd/m<sup>2</sup></b>	<b>F</b> <b>%</b>	<b>Imis</b> <b>cd</b>	<b>R</b> <b>cd/lx</b>	<b>Rareico</b> <b>Cd/(lx*m<sup>2</sup>)</b>
764,52	959,57	79,67	1,500	0,1118	56,9686
851,10	995,76	85,47	1,670	0,1093	55,7000
851,10	995,76	85,47	1,670	0,1093	55,7000
769,90	944,49	81,51	1,511	0,1058	53,9143
827,24	994,57	83,18	1,623	0,1022	52,0932
785,06	920,85	85,25	1,541	0,1008	51,3782
722,66	887,62	81,42	1,418	0,0966	49,2278
707,06	821,41	86,08	1,388	0,0908	46,2734
660,76	776,74	85,07	1,297	0,0849	43,2434
629,13	736,79	85,39	1,235	0,0804	40,9856
592,11	679,84	87,10	1,162	0,0777	39,6063
531,29	609,99	87,10	1,043	0,0679	34,6114
477,34	551,17	86,61	0,937	0,0610	31,0973
419,69	481,54	87,16	0,824	0,0537	27,3412
367,15	448,11	81,93	0,721	0,0469	23,9186
314,53	382,34	82,26	0,617	0,0401	20,4239
285,92	347,24	82,34	0,561	0,0364	18,5660
242,82	287,50	84,46	0,477	0,0309	15,7676
200,08	244,54	81,82	0,393	0,0255	12,9922
167,48	201,78	83,00	0,329	0,0213	10,8403

Catadiottro Bianco			$\beta=-5$		
Lmed effettiva cd/m <sup>2</sup>	Lmed appross senza difetti cd/m <sup>2</sup>	F %	Imis cd	R cd/lx	Rareico Cd/(lx*m <sup>2</sup> )
742,31	959,57	77,36	1,457	0,1027	52,3490
827,24	994,57	83,18	1,623	0,1022	52,0932
813,53	996,86	81,61	1,597	0,1005	51,2298
795,99	980,35	81,19	1,562	0,0984	50,1253
758,25	944,74	80,26	1,488	0,0937	47,7491
725,47	898,65	80,73	1,424	0,0897	45,6843
706,84	863,91	81,82	1,387	0,0874	44,5111
658,04	805,65	81,68	1,291	0,0813	41,4382
627,43	765,56	81,96	1,231	0,0775	39,5107
592,62	714,59	82,93	1,163	0,0732	37,3188
548,91	662,72	82,83	1,077	0,0678	34,5661
504,04	619,14	81,41	0,989	0,0623	31,7406
448,68	541,67	82,83	0,881	0,0554	28,2546
393,39	491,99	79,96	0,772	0,0486	24,7724
346,33	437,18	79,22	0,680	0,0428	21,8090
322,48	387,83	83,15	0,633	0,0379	19,3332
277,74	327,83	84,72	0,545	0,0343	17,4898
227,34	274,72	82,75	0,446	0,0281	14,3160
188,06	223,95	83,97	0,369	0,0232	11,8426
159,52	187,80	84,94	0,313	0,0197	10,0455

Catadiottro Bianco		$\beta = -7,5$			
Lmed effettiva cd/m <sup>2</sup>	Lmed appross senza difetti cd/m <sup>2</sup>	F %	Imis cd	R cd/lx	Rareico Cd/(lx*m <sup>2</sup> )
745,56	924,23	80,67	1,463	0,1002	51,0660
817,04	999,65	81,73	1,603	0,0990	50,4349
771,09	927,44	83,14	1,513	0,0934	47,5979
742,78	894,62	83,03	1,458	0,0900	45,8506
706,84	863,91	81,82	1,387	0,0874	44,5111
675,75	814,09	83,01	1,326	0,0835	42,5536
674,10	799,47	84,32	1,323	0,0817	41,6111
631,57	751,79	84,01	1,239	0,0765	38,9857
616,46	733,81	84,01	1,210	0,0747	38,0533
564,44	667,06	84,62	1,108	0,0724	36,8914
504,66	605,59	83,33	0,990	0,0627	31,9403
484,68	576,69	84,04	0,951	0,0587	29,9184
425,06	500,53	84,92	0,834	0,0515	26,2384
380,64	452,82	84,06	0,747	0,0461	23,4966
338,08	398,26	84,89	0,663	0,0410	20,8690
303,21	357,82	84,74	0,595	0,0367	18,7165
249,97	297,55	84,01	0,491	0,0303	15,4301
217,54	257,26	84,56	0,427	0,0264	13,4285
178,49	211,34	84,45	0,350	0,0216	11,0180
159,03	181,74	87,50	0,312	0,0193	9,8164

### Verifica degli errori relativi degli angoli di apertura

Per il Catadiottro Bianco abbiamo:

- *Errore massimo relativo dell'apertura angolare della sorgente = 0.48%*
- *Errore massimo relativo dell'apertura angolare del rivelatore = 0.42%*

## 7 Osservazioni

Dopo aver effettuato le misure, per trovare un riscontro dei risultati ottenuti si è cercato di trovare dei valori di riferimento dei campioni in esame, rivolgendosi alle ditte produttrici dei catadiottri. La Plastar, Veralux e Euronorm, non hanno saputo fornire alcun dato con il quale verificare la validità delle misure.

### 7.1 Luminanza effettiva e Rapporto areico

Per l'elaborazione della matrice dei valori di luminanza acquisiti dal rivelatore, viene utilizzato un algoritmo che va ad eliminare la "cornice" di punti in cui  $L=0\text{cd/m}^2$ . Inoltre verranno messi a confronto le luminanze medie dell'area effettivamente riflettente e dell'area effettiva del catadiottro, in modo da valutare la qualità del campione in esame nell'eventualità che questo presenti dei punti interni con valori di luminanza al di sotto del 10% del valore massimo misurato.

Per tale motivo viene utilizzato il rapporto areico  $F$  espresso in percentuale; da questo notiamo che il campione più performante è sicuramente quello rosso, mentre per gli altri due la disposizione dei prismi all'interno del catadiottro stesso non è altrettanto efficace.

### 7.2 Grafici

Come si osservano dai grafici, il catadiottro rosso ha una risposta maggiore e il coefficiente di intensità luminosa diminuisce più rapidamente rispetto al bianco e al giallo, all'aumentare dell'angolo di illuminazione. Inoltre si osserva che la planarità dei catadiottri rosso e bianco risultano molto più affidabili rispetto a quello giallo in quanto presenta dei punti di discontinuità al variare di  $\alpha$ .



## 8 Conclusioni

L'obiettivo di questo lavoro di tesi, l'analisi parametrica del coefficiente di intensità luminosa, è stato raggiunto solo in parte. Ciò che non ha reso questa tesi completa, è la mancanza di valori di riferimento misurati dalle case produttrici, o meglio, dei centri sperimentali di fotometria addetti all'omologazione dei campioni.

Non è stato possibile, quindi, effettuare un confronto e verificare la validità delle misure. Tuttavia, avendo realizzato un sistema di misura *QUASI a regola d'arte*, secondo la norma UNI10828, ci si può permettere di dire che la misura è affidabile. Tuttavia durante il lavoro di tirocinio per la messa in funzione dell'intero sistema e nella procedura di misura, vi sono molti aspetti che hanno influito sistematicamente nelle prove effettuate, i quali devono essere rivisti o sistemati, per rendere il sistema *a regola d'arte*.

- **Goniometro:** Il goniometro utilizzato in laboratorio ha garantito un elevato livello di precisione. Per operare la misura, al sistema che permette la rotazione del campione, “il mulino”, è stato collegato ad una basetta, con opportuni morsetti, in grado di sostenere i campioni in esame e per permettere la rimozione veloce dello stesso. Inoltre la verifica degli allineamenti, con l'utilizzo del segnale laser, mediante l'ausilio di tale accessorio, l'applicazione degli specchi è risultata più precisa.

Proprio questo sistema di verifica degli allineamenti, ha lasciato qualche perplessità; infatti cambiando anche di pochissimo la sistemazione degli specchi la verifica subiva delle alterazioni non trascurabili, e la verifica della perfetta planarità non è stata mai eseguita. Essendo tale verifica fondamentale per ottenere delle misure sufficientemente precise, questo aspetto dovrà essere rivisto sicuramente in un altro lavoro di ricerca.

- **Luxmetro:** Come detto in precedenza, il luxmetro utilizzato per le misure presentava un'area sensibile di poco maggiore rispetto a quanto previsto nella normativa. La soluzione ideale sarebbe stato avere 5-6 rivelatori con piccole superfici sensibile da piazzare nella stessa posizione e piano del campione. Sarebbe stata una soluzione ideale, anche se praticamente impossibile. Tuttavia il sistema utilizzato è risultato adeguato, piazzando il luxmetro in prossimità del catadiottro con l'ausilio della basetta porta campione, utilizzando però un dispositivo con area sensibile leggermente più piccola sarebbe stato più opportuno e preciso.
- **Sorgente luminosa:** Il diaframma della sorgente presentava inizialmente, con l'ausilio del sistema ottico installato, un diametro di circa 7cm per ottenere una zona illuminata di 0,8 m. Per ottenere un  $\delta < 4'$  è stato realizzato un diaframma di cartoncino nero con diametro di 16mm.
- **Il rivelatore:** Per quanto riguarda la telecamera CCD, esse presentava 753x581 pixel e un ADC da 8bit. Per una prova di questo tipo, un dispositivo di prestazioni maggiori, ovviamente, avrebbe restituito una misura ancor più accurata.

Sarebbe bastato un obiettivo con una focale maggiore rispetto ai 50mm utilizzati. Inizialmente per la misura è stato adoperato un 100mm, che permetteva di isolare più adeguatamente il campione dalla scena, realizzando delle foto con più pixel dedicati al catadiottro stesso, ma Tuttavia dopo svariati tentativi, modificando la posizione del sostegno e della telecamera, nelle foto realizzate per angoli superiori a  $1.4^\circ$ , il campione “usciva di scena” e non veniva

fotografato. Pertanto è stato necessario utilizzare l'obiettivo da 50mm.

- **Il Filtro:** Per la scelta del filtro ottico, in laboratorio erano presenti filtri con svariati valori di densità ottica. Il filtro utilizzato è risultato il più efficace rispetto al 3OD proposto inizialmente, infatti questo portava ad avere delle foto troppo scure, e i valori della luminanza si allontanavano di molto, di troppo, dai valori di saturazione del rivelatore.
- **Sistema di posizionamento verticale:** Uno degli obiettivi di questo lavoro di tirocinio, è stato di automatizzare il più possibile il sistema di misura, sia in fase di misura che in fase di elaborazione. In fase di misura ciò che non ha reso possibile una buona automatizzazione è stato il Sistema di posizionamento verticale, con il quale per ogni misura si doveva effettuare una decina di giri di manovella per cambiare l'angolo di osservazione, e questo comportava, oltre allo sforzo fisico, una perdita di tempo intollerabile. Inoltre per tale motivo non sono stati calcolati gli errori sull'apertura angolare del catadiottero, per essi il numero di misure anziché essere 60 per campione, per una misura accurata, con una decina di angoli di illuminazione diversi, ce ne sarebbero dovute almeno 200.

Per ovviare a questo inconveniente, l'installazione di un motore, per esempio passo-passo, con un'opportuna precisione nello spostamento verticale della rotaia dove scorre il piano mobile, e quindi dell'angolo di osservazione, sarebbe la cosa più opportuna. Inoltre se tale motore fosse comandato mediante un operatore, temporizzando opportunamente sia il goniometro che la telecamera, sarebbe possibile effettuare una perfetta misura completamente automatizzata.

- **Elaborazione dei dati e Matlab:** L'elaborazione dei dati con matlab, attraverso le procedure riportate al capitolo 6.1, sono accettabili, ma dovrebbero essere, in un prossimo lavoro di ricerca, integrate e automatizzate con le proposte presentate qui sopra.

Nell'ambito della sicurezza stradale, i catadiottri sono dispositivi che servono a segnalare la presenza di un veicolo mediante riflessione della luce proveniente da una sorgente luminosa estranea al veicolo stesso. Giocano un ruolo fondamentale in materia di sicurezza. Inoltre vengono utilizzati per i cartelli di segnalazione, per esempio di emergenza o di pericolo e per l'indicazione del tracciato stradale.

Per tale motivo è necessario che questi dispositivi vengano caratterizzati da un'analisi come quella fatta in questo lavoro di tesi, al fine di determinare le caratteristiche di tali superfici e confrontarle con i valori previsti dalle normative stradali, o comunque relative al campo di utilizzo, per procedere poi all'omologazione per la messa in servizio.

Normalmente le prove di omologazione, applicate dai laboratori di fotometria di competenza, vengono eseguite su 10 campioni dello stesso tipo. Dopo la verifica delle disposizioni generali e prescrizioni sulla forma e sulle dimensioni, i 10 campioni saranno sottoposti al controllo delle caratteristiche colorimetriche (non trattato in questo lavoro di tesi) e del coefficiente di intensità luminosa. I due catadiottri che avranno dato i valori di minimo e massimo, sempre all'interno dei valori prefissati dalla normativa, saranno tenuti dal laboratorio per ogni ulteriore verifica che potrebbe rivelarsi necessaria. Gli 8 campioni restanti poi, dovranno superare la prova di resistenza all'acqua e se questa avrà avuto esito favorevole, alla prova di resistenza ai carburanti e agli oli lubrificanti. Una prova verrà effettuata sulla stabilità nel tempo delle proprietà ottiche e di stabilità del colore e infine, solo se necessario, alle prove di resistenza alla corrosione e al calore.



Il laboratorio di Fotometria ha cominciato lo studio di queste superfici, con l'obiettivo di realizzare un sistema di misura il più efficiente e preciso possibile, in grado di effettuare a regola d'arte le prove fotometriche descritte in precedenza. Tuttavia a causa della tempistica italiana nell'approvazione di componenti di questo tipo, quasi tutte le aziende operanti in questo settore preferiscono rivolgersi ad altri paesi facenti parte della comunità europea, come Germania, Francia e Gran Bretagna, i quali possiedono dei centri sperimentali molto più all'avanguardia dei nostri. Comunque sia, il sistema di misura del laboratorio, con gli opportuni accorgimenti indicati sopra, con un ulteriore studio del procedimento cercando di sintetizzare e automatizzare il più possibile la misura potrebbe eseguire una perfetta analisi dei prodotti.

In conclusione si può dire che, l'automatizzazione o velocizzazione dei processi burocratici italiani non è di competenza dei ricercatori, tuttavia il miglior sistema per realizzare un centro all'altezza di quelli dei paesi esteri della Comunità Europea, è un lavoro di comune vantaggio con un'azienda produttrice operante in questo settore, ottenendo così un supporto sia tecnico che finanziario.



## Bibliografia

- Norma UNI10828: Riflettori catadiottrici – Terminologia e misurazioni fotometriche
- Articolo: “*Analisi Riflettometrica di superfici mediante un sistema goniometrico di elevate prestazioni*” – Lorenzo Fellin, Pietro Fiorentin, Alessandro Scroccaro
- Articolo: “*L’importanza delle misure delle proprietà riflettenti dei materiali*” - Lorenzo Fellin, Pietro Fiorentin, Alessandro Scroccaro
- “*Manuale Matlab*” – Giuseppe Ciaburro
- “*Introduzione all’uso di Matlab per il calcolo scientifico*” – Paola Causin, Stefano Micheletti, Riccardo Sacco
- “*Introduzione a MATLAB*” – Enzo Tonti
- “*Mathlab 6 per l’ingegneria e le scienze*” – William J. Palm III
- “*Writing fast matlab code*” – Pascal Getreuer

